

© Uluslararası
İnsan Bilimleri
Dergisi



ISSN: 1303-5134

www.insanbilimleri.com

Cilt: 4 Sayı: 2 Yıl: 2007

Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen enerjisi ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı

Cihat POLAT *
Nurcan KILINÇ **

Özet

Dünyadaki enerji ihtiyacı giderek artarken, alternatif enerji kaynaklarının arayışı da devam etmektedir. Son yüz-yüz elli yıldır temel enerji kaynağı olarak, kömürden petrole, petrolden doğal gaza tedrici bir geçiş gözlenmekte ve bu geçişin hidrojenle devam etmesi beklenmektedir. Mevcut enerji kaynaklarının 60 yıl sonra sona ereceği tahmin edilmektedir. Buna karşın, dünyanın bir ülkesinde alternatif enerji kaynakları konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır. Hidrojen enerjisi, mevcut kaynakların kısıtlı ömrü, hidrojenin sınırsız bir enerji kaynağı olması, kolayca ve güvenli olarak taşınabilmesi, sanayide, evlerde ve taşıtlarda kullanılabilmesi, kullanımı sonucu da sadece su oluşması bununla birlikte diğer fosil yakıtlarla da rekabet edebilecek düzeyde olması onu en önemli alternatif enerji kaynağı durumuna getirmiştir. Hidrojen enerjisinin söz konusu mevcut özellikleri, hidrojen teknolojisi alanındaki ilerlemeler ve enerji pazarının büyüklüğü, ülkelerin ve dünyanın önde gelen firmalarının bu pazara odaklanmalarına neden olmuştur. Ülkeler ve uluslararası firmalar dünya hidrojen pazarından daha fazla pay alabilmek için yoğun bir AR-GE çabası içerisine girmişler ve bu pazara sunacakları ürünleri geliştirmek için büyük yatırımlara girişmişlerdir. Hidrojen ve hidrojen teknolojileri pazarı mevcut durumda bile büyük bir hacme ulaşmış, birçok uluslararası firma çok çeşitli ürünlerle bu pazarda yerini almış durumdadır. Bu çalışma, -yeni bir pazar olarak- dünya hidrojen pazarının doğuşu, gelişimi ve paylaşımı konusunu incelemekte ve Türkiye hidrojen enerjisi pazarındaki gelişmeleri özetlemektedir.

Anahtar Kelimeler: Pazar, pazarlama, pazar gelişimi, enerji pazarı, hidrojen enerjisi, hidrojen teknolojisi ürünleri

*Niğde Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İşletme Bölümü, Yrd. Doç. Dr., cpolat@nigde.edu.tr

** Sakarya Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Yüksek Lisans Öğrencisi

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı:
"Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri" pazarı*

The birth, growth, and share of a new market in the world and in Turkey: ‘Hydrogen energy and hydrogen technology products’ market

Cihat POLAT *
Nurcan KILINÇ **

Abstract

While the needs for energy continuously increase, the searches for new energy sources are also intensified. In the last hundred or hundred and fifty years, there has been a gradual shift from coal to petroleum, and from petroleum to natural gas. This transition process to alternative energies is expected to continue. The next phase is expected to be the ‘hydrogen’ as the source of primary energy in the near future. It is estimated that the current energy sources such as petroleum and natural gas last for about 60 years. However, there is an ongoing research and development (R&D) activities focused on alternative energy sources. At present, hydrogen energy looks the closest alternative to be used because of variety of reasons. The existing fossil fuels (coal, petroleum, and natural gas) has limited potential but hydrogen has unlimited production capability, it can be transferred easily and safely, and can be used in variety of different areas including industry, residential and transportation. It is also safe, clean and environmentally friendly. All these features have made hydrogen energy as one of the most popular sources of energy for the future. World’s leading firms and research institutions have focused on R&D activities and have spent considerable financial resources and efforts in order to catch or lead the developments in the area regarding the existing technological developments in the area and size of the market potential in the world. Leading countries have taken role in the process of technology development with considerable financial supports. Even at present, the market has reached to a considerable size, into which many national and international companies have launched variety of products. In such conditions, many countries and firms are trying hard to have the largest share from it. This study investigates the birth, growth, and share of the world and Turkish hydrogen markets with respect to the current literature.

Keywords: *Market, Marketing, Market Growth, Energy Market, Hydrogen Energy, Hydrogen Technology Products*

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı:
"Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri" pazarı*

1. Giriş

Dünya’da gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerdeki enerji ihtiyacı büyük bir hızla artmaya devam etmektedir. Gittikçe büyüyen ekonomiler, bu ekonomilerdeki birçok endüstriyel üretim alanında enerjiye duyulan büyük çaplı ihtiyaçlar vb. faktörler, enerjiyi işletmelerde üretimin en temel girdilerinden birisi ve firmalar ve ülkeler için stratejik bir kaynak durumuna getirmiştir. Ayrıca, nihai tüketicilere yönelik olarak geliştirilen ve otomobilden dayanıklı tüketim mallarına kadar geniş bir yelpazedeki binlerce ürünün enerjiye bağımlı olması, ona duyulan ihtiyacın şiddet derecesini önemli derecede artırmış; nihai tüketiciler ve endüstriyel alıcılar için enerji, bugün dünyada en fazla ihtiyaç duyulan ürünlerden birisi durumuna gelmiştir.

Enerji, bu bağlamda ülkelerin ekonomik gelişimleriyle ilgili olduğu kadar, güvenliğiyle de direkt olarak ilgili bir konuma yükselmiştir. Bundan dolayıdır ki, dünyada birçok ülke artık yalnızca kendi bölgelerindeki enerji kaynaklarıyla ilgilenmekle yetinmiyorlar, dünyanın herhangi bir bölgesindeki enerji kaynaklarıyla da yakından ilgileniyorlar ve onların hem kaynak hem de ulaşım güvenliğini garanti altına almak için uluslar arası birliktelikler oluşturmaktan ve bunları korumak için büyük miktarlarda finansal ve askeri yatırımlar yapmaktan geri durmuyorlar.

Enerji, artık dünyadaki en hassas konulardan birisi durumuna gelmiştir. Belirtildiği üzere enerji, yalnızca ekonomik bir girdi, işletmelerin çeşitli amaçlarla kullandığı endüstriyel bir ürün veya insanların ihtiyaçlarını karşılamak için kullandıkları nihai bir ürün olmanın çok ötesine geçmiş ve artık stratejik bir değer kazanmıştır. Dünyadaki enerji kaynaklarının sınırlı olması, coğrafi dağılımlarının (petrol gibi) dengeli olmaması, üretim ve dağıtım maliyetlerinin yüksek olması, zaman zaman bunların -1979 İran Devrimi’nde olduğu gibi- Batı tarafından istenmeyen veya kontrol edilemeyen ülkelerin eline geçme durumu (veya ihtimali) veya (1967 ve 1973-74 Arap Petrol Ambargosu’nda olduğu gibi) enerji kaynaklarının arzının kısıtlanması (Torpe, 2007; Hillmore, 1973) gibi nedenler, enerji konusunda askeri ve ekonomik bakımdan güçlü ülkeleri arz ve dağıtım kanalları üzerinde –büyük maliyetler pahasına da olsa- kontrol kurmanın yollarını aramaya itmiştir. 1991 yılında Irak’ın Kuveyt’i işgali üzerine öncülüğünü ABD’nin yaptığı ve Avrupa ülkelerinin de birinci derecede katıldıkları uluslararası büyük bir güç I. Körfez savaşı (1991) ile Irak’ı Kuveyt’ten çıkarmıştır. Daha sonra 2003 yılındaki II. Körfez savaşının –her ne kadar kamuya açıklanan nedeni, Saddam’ın elinde bulunan Kitle İmha Silahları olduğu ileri sürülse de- iki ana nedeninden birisinin Irak petrolleri olduğu görüşü kamuoyundaki en yaygın kanaatlerden birisidir ve bu neden kamuoyunda ve medyada geniş olarak tartışılmıştır.

“ABD’nin yanına İngiltere’yi de alarak, Irak’a operasyon düzenleme girişiminin altında yatan asıl amaç, dünya petrollerinin en büyük rezervlerinin bulunduğu Ortadoğu bölgesine el koymak, dolayısıyla da petrol piyasasını kontrol altında tutabilmektir. Her ne kadar, çeşitli terörizmle mücadele söylemleriyle asıl amacını kamufle etmeye çalışıyorsa da, bizzat kendi yetkililerinin ağızından itiraf etmek zorunda kalmıştır... Bu önemli yakıt kaynağı Kissinger’in¹ de belirttiği gibi Araplara bırakılmayacak kadar önemli bir şeydir. Amerika Birleşik Devletleri bunun bilincindedir ve operasyonun asıl amacının dünyanın bu en stratejik kaynaklarına

¹ Henry A. Kissinger: 1973-1977 yılları arasında görev yapmış ABD eski Dışişleri Bakanı

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

hükmetme ve dünya finans piyasalarındaki hegemonik gücünün yanı sıra, kaynaklar üzerinde de hegemonya kurmak peşindedir.” (Özbilen, 2003).

Petrol ve kömür egemenliğine dayanan enerji çağı, 1960’ların ikinci yarısına kadar yaklaşık iki yüzyıl boyunca sorunsuz olarak devam etmesine rağmen, özellikle 1967 ve 1973 yıllarındaki Arap petrol ambargoları (<http://en.wikipedia.org> (1; 2)) ve 1979 petrol krizi ile petrolün bir silah olarak kullanıldığı gözlemi (Guardian Unlimited, 2002), başta batılı ülkeler olmak üzere birçok ülkeyi alternatif enerji arayışlarına itmiştir. Ardı ardına gelen krizler enerji kaynakları konusunda ciddi bir güvensizlik ortamının oluşmasına ve bu nedenle de bütün dünyada yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda yoğun bir arayışın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Başta ABD ve Avrupa ülkeleri olmak üzere birçok ülke, bu konuda yoğun araştırmalara başlamışlardır. 1980’lerin ortalarında petrol fiyatlarının düşmesiyle bu tür araştırmalara ve kaynaklara olan ilgi geçici bir süre azalmakla birlikte, petrol krizi sonucu gündeme gelen “enerji güvenliği” ve “enerjinin çeşitlendirilmesi”, enerji politikalarının vazgeçilmez unsurlarından birisi haline gelmiştir. 1990’lı yıllardan itibaren ortaya çıkan çevre bilinci de, fosil kaynaklara dayalı enerji üretim ve tüketiminin yerel, bölgesel ve küresel düzeyde –atmosfere, çevreye ve doğal kaynaklara- doğrudan ve/veya dolaylı birçok olumsuz etkisinin olduğunun anlaşılmasını sağlamıştır. Bu da, kirlilik yaratıcı emisyon oluşturmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarıyla ilgili arayışların ve çalışmaların yeniden gündeme gelmesine ve desteklenmesine yol açmıştır (Uğur, 2005). Söz konusu ülkeler başta olmak üzere –başta hidrojen ve güneş enerjisi gibi- yeni enerji kaynaklarının bulunmasına, geliştirilmesine ve kullanımına yönelik AR-GE çalışmaları yoğunlaştırılmış ve birçok ülkede enerji konusu artık devlet politikası çerçevesinde ele alınır duruma gelmiştir.

Enerji konusuna bakıldığında, özellikle son yüz - yüz elli yıldır temel enerji kaynağı olarak işlev gören kömürden petrole, petrolden de doğalgaza tedrici bir geçiş gözlenmektedir. Geleneksel enerji kaynakları denilen fosil tabanlı enerji kaynaklarında önümüzdeki dönemde ciddi sıkıntıların olacağı tahmin edilmektedir. Bu tür kaynakların sınırlı olduğunun anlaşılmasına ilave olarak, gittikçe yoğun bir şekilde kullanılmaları nedeniyle bunlar için katlanılan normal maliyetlerin dışında birçok ekonomik ve çevresel maliyetler de ortaya çıkmış durumdadır. Bu enerji kaynaklarını kullanmanın maliyetinin esasen öngörülenden daha yüksek bir maliyete sahip olduğu giderek daha iyi anlaşılmaktadır. Diğer yanda ise, dünya ekonomik sisteminin önemli bir kısmının bu kaynaklara bağımlılığından kaynaklanan –ve yukarıda da ifade edilen- ekonomik, stratejik ve siyasi birçok sıkıntıyı beraberinde getirmektedir. Uzun süreden beri devam eden alternatif enerji arayışları söz konusu nedenlerin de etkisiyle son zamanlarda daha fazla hız kazanmış durumdadır. Yapılan bilimsel araştırmalar, AR-GE faaliyetleri ve bunların sonucunda ulaşılan teknolojik ve ticari durum, yukarıda belirtilen geçişin önümüzdeki dönemde hidrojenle devam edeceği konusunda ciddi işaretler oluşturmaktadır (Dunn, 2002).

Hidrojenden başka alternatif sürdürülebilir enerji kaynakları da keşfedilmiş olmasına rağmen, hidrojen hala ‘tercih edilmesi gereken kaynak’ olarak ifade edilmektedir. Çünkü hidrojen temelli enerji sistemlerinin yüksek kaliteli, verimli, temiz, güvenli ve sürdürülebilir olması bir enerji kaynağından olan beklentileri karşılamaktadır (Barreto vd., 2003). Bunlara ilave olarak; hidrojenin yüksek ısı dönüşümü ve enerji gücü, basitliği ve oksijen ile yandığı zaman çevresel atıklar oluşturmaması, doğal ve yenilenebilir olması, sınırsız olması, çevreye ve canlılara zararsız olması, kolayca ve güvenli bir şekilde taşınabilir olması, sanayi, ev ve

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

taşıt gibi bir çok alanda kullanılabilmesi gibi nedenler –ki, temiz sudan başka bir atık üretmemekte ve üretilen su da tekrar doğaya dönmektedir- hidrojen kullanımını diğer alternatif enerji kaynakları arasında oldukça avantajlı hale getirmektedir (Kırtlar vd., 2004; Bossel vd., 2005; Hirsh vd., 2007). Bütün bu özellikler hidrojeni potansiyel olarak diğer fosil yakıtlarla rekabet edebilecek bir yakıt olarak görülmesine ve hidrojen ve hidrojen tabanlı ürünlerin giderek artmasına neden olmaktadır (Hirsh vd., 2007). Bu çerçevede hidrojenin sahip olduğu söz konusu avantajlar ve potansiyeller –mevcut teknolojik gelişme düzeyi de dikkate alındığında- önümüzdeki dönemin “hidrojen ekonomisi dönemi” olarak nitelendirilmesine imkan sağlamaktadır (Kırtlar vd., 2004).

2. Hidrojen Enerjisi ve Ekonomik Durumu

2.1. Hidrojen Enerjisi Nedir?

Hidrojen; 1500’lü yıllarda keşfedilmiş, 1700’lü yıllarda yanma özelliğinin farkına varılmış, evrendeki en basit ve en çok bulunan elementlerinden birisi olup; renksiz, kokusuz, havadan 14,4 kez daha hafif ve tamamen zehirsiz bir gazdır. Hidrojen, su, hava, kömür ve doğal gaz gibi kaynaklardan üretilmektedir. Kömür ve doğal gaz, sınırlı olduklarından ve karbon içerdiklerinden dolayı hidrojen üretimi için tercih edilmemektedirler. Su, hidrojen üretimi için en doğru seçenek olarak görülmektedir (<http://www.fizikdosyasi.com>).

Her yenilenemez enerji kaynağında olduğu gibi petrol ve doğalgaz rezervleri de sınırlıdır. Dünya ölçeğinde kullanmakta olduğumuz enerjinin çoğu petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Dünyada fosil yakıtların toplam enerji tüketimi içerisindeki payı halen %85–90 oranında yer almaktadır. Dünya elektrik enerjisi üretimi ise yaklaşık olarak %64,5’i fosil yakıtlar (%38,7 kömür, %18,3 doğal gaz, %7,5 petrol), %7’si nükleer enerji, %16,5’i hidrolik enerji ve %13’ü diğer yenilenebilir enerji kaynaklarından gerçekleşmektedir (Eniş, 2006). Her ne kadar 1980’den 2003’e kadar dünyadaki net petrol rezervleri %60, doğal gaz rezervleri de %109 oranında artmış ise de, dünyadaki enerji tüketimindeki artış oranı da oldukça yüksektir. Ayrıca, hem enerji üretimi hem de enerji tüketimi dünya üzerinde coğrafi dağılım bakımından önemli farklılıklar göstermektedir.

Enerji tüketimi gelişmiş ülkelerde yoğunlaşırken, enerji petrol ve doğalgaz gibi enerji rezervleri dünyanın belirli bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Örneğin, dünyada birincil enerji kaynaklarıyla ilgili üretim ve tüketim göstergeleri, Kuzey Amerika, Avrupa, Asya ve Pasifik bölgelerinin ürettikleri enerjinin üzerinde tükettiklerini göstermektedir. Buna karşın, dünya üzerindeki petrol rezervlerinin %65,3’ü Orta Doğu bölgesinde bulunmaktadır. Enerji kaynaklarının üretim ve tüketim dağılımları arasındaki farklılıklar, bundan kaynaklanan tecrübeler ve ortaya çıkabilecek potansiyel problemler, alternatif enerji kaynaklarına verilmesi gereken önem bakımından itici bir güç oluşturmaktadır². Gerçi, enerji tüketiminin büyük

² Çalışmanın giriş bölümünde de belirtildiği üzere, bugün hemen hemen bütün dünyada alternatif enerji kaynaklarına doğru büyük bir yönelim söz konusudur. Bu çerçevede çeşitli alternatif ve yenilenebilir enerji kaynakları geliştirilmiş / kullanılır durumdadır. İlk aklı gelenler arasında güneş enerjisi, jeotermal enerji, rüzgar enerjisi ve hidrolik enerjisi bulunmaktadır. **Güneş Enerjisi** (ısı, elektrik) teknolojileri, -Foto Voltaik (Photo Voltaic - PV) teknolojileri- en hızlı gelişme gösteren teknolojilerden biridir. PV teknolojisi, verimlilik ve fiyat bakımından önemli kazanımlar sağlamaktadır. Bununla birlikte maliyet vb. bakımlardan bazı sorunlar bulunmaktadır. **Jeotermal Enerji**; tüm dünya üzerine yayılmış bulunan uygulamaların 70’i aşkın ülkede yer aldığı bir enerjidir. 24 farklı ülkede jeotermal enerji ile elektrik üretimi yapılmakta ve 8,900 MW kurulu güç ile 56,8 TWh/yıl üretim gerçekleştirilmektedir. Jeotermal enerjinin etkin kullanımıyla, 2020 yılında dünya genelindeki

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

bölümünü gerçekleştiren gelişmiş ülkelerde enerji talep artış hızının –tamamen durmuş olmasa da- belirli bir doygunluğa ulaştığı ve artış trendinin yavaşladığı iddia edilmektedir ancak önümüzdeki yıllarda -elektrik enerjisi başta olmak üzere- enerji talep artışlarının çoğunlukla gelişmekte olan ülkelere geleceği beklenmektedir (Eniş, 2006). Bu ise; ucuz, yenilenebilir ve zengin enerji kaynaklarına olan ihtiyacı daha da artıracaktır ama dünya’da petrolün yaklaşık 40, doğalgazın 62, kömürün ise 216 yıl yetecek bir potansiyele sahip olduğu tahmin edilmektedir (Yıldırım, 2003).

Buna karşın hidrojen, sınırsız bir enerji kaynağıdır. Onun kolay ve güvenli bir şekilde taşınabilmesi, sanayide, evlerde ve taşıtlarda kullanım potansiyeli ve atık olarak da sadece su üretmesi hidrojeni diğer enerji kaynakları karşısında son derece avantajlı bir hale getirmekte; enerji pazarında ise giderek artan bir rekabet oluşturmaktadır. Son yıllarda yoğunlaşan AR-GE çalışmalarının sonucunda piyasaya sürülen çok sayıda hidrojen tabanlı ürünlerin pazar gelişimi de son derece olumlu gözükmemekte; bunların pazar payı giderek artmakta ve dünyada bir hidrojen ve hidrojen ürünleri pazarı hızla gelişmektedir.

Bu gelişim trendini etkileyen temel faktörlerden birisi -kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil tabanlı- geleneksel enerji kaynaklarının gelecekte tükeneceğine dair tahminlerdir (Cherry, 2004). Bu tahminler, başta otomotiv sektörü olmak üzere –ki, dünyanın hemen hemen bütün büyük otomotiv üreticilerinin hâlihazırda hidrojenle çalışan çok çeşitli türlerde taşıtlar üretmeleri- hidrojen sektörünün ana kullanım alanlarından ve hidrojen enerjisi sektörünün gelişmesinde lokomotif sektörlerden birinin ulaşım sektörü olacağını göstermektedir - birçok enerji bağlantılı sektörü de harekete geçirmiştir (Winter, 2005).

Hidrojen enerjisini popüler hale getiren etkenlerden bir diğeri de, mevcut enerji kaynaklarının fiyatlarında çeşitli nedenlerle oluşması beklenen değişimlerdir. Örneğin, Birleşmiş Milletler’in raporlarına göre 2012 yılı "ucuz petrolün sonu" olacaktır. Ucuz petrol bitecek ve kalan petrol kaynakları yalnızca savunma sanayi gibi alanlarda kullanılacaktır. Çünkü dünyadaki orduların elindeki araçları başka bir enerjiye dönüştürmek çok büyük maliyetleri gerektirecek ancak ülkelerin birden bire bu kadar yüksek maliyetlere katlanması gerçekçi olmayacaktır. Bu nedenle, geçiş döneminde eldeki petrol kaynaklarının yalnızca savunma sanayinde kullanılması beklenmektedir (Yıldırım, 2006).

Hidrojen enerjisi pazarı söylemiş olduğumuz nedenlerle çok hızlı bir şekilde gelişmesine rağmen, hidrojen enerjisinin ekonomik hayata uyarlanmasını yavaşlatan bazı nedenler de mevcuttur. Bu nedenlerden birisi de mevcut kaynakların yaygın bir şekilde kullanımıdır. Yıllar boyunca geliştirilmiş bir altyapı mevcuttur ve bunun birden bire terk edilmesi hem ekonomik hem de pratik bakımdan mümkün değildir. Bu nedenle diğer enerji kaynaklarında olduğu gibi tedrici –ancak daha hızlı- bir geçiş beklenmektedir.

elektrik tüketiminin %5’inin karşılanabileceği tahmin edilmektedir. **Rüzgâr Enerjisinin** 2000 yılı verilerine göre dünyadaki kurulu kapasitesi 17 GW, 2010 yılı tahmini ise 45 GW civarındadır. 2000 yılındaki 4,8 cent/kWh maliyetin, 2020 yılında 2,5 c/kWh’e düşmesi beklenmektedir. Önümüzdeki dönemin rüzgâr enerjisine yönelik ele alınması gereken başlıca konuları arasında AR-GE, sistem konuları, çevre ve sosyal kabul gibi konular yer almaktadır. Alternatif enerji kaynaklarının arasında çok önemli bir yere sahip olan **hidrolik enerji** ise yaklaşık 100 yıldan beri kullanılan, güvenli ve ucuz bir elektrik enerjisi kaynağıdır ve halen yer yüzeyindeki en önemli yenilenebilir enerji kaynağı durumundadır (Ersöz, 2006).

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı:
"Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri" pazarı*

Bununla birlikte –özellikle- taşıt sektörünün hidrojene geçmesini geciktiren önemli sayılabilecek bazı problemler de bulunmaktadır. Bunların başında depolama sorunu gelmektedir (Yıldırım, 2006). Hidrojen gibi son derece geniş bir hacme sahip bir gazı depolayabilmek için onu ciddi oranda sıkıştırmak gerekmektedir; bu ise nispeten küçük hacimli otomobillerde göreceli olarak büyük bir depolama alanına ihtiyaç doğurmaktadır. Mevcut otomobillerin hacmi bu şekildeki bir proses için yeterli olmamakta; böyle bir şey ancak otomobillere ilave bir depolama biriminin takviyesiyle mümkün olabilmektedir. Bu ise güvenlik, görsel ve pratik açılardan tercih edilen bir durum olmamaktadır. Ancak problemin çözümüne yönelik AR-GE çalışmaları dünyanın çeşitli ülkelerinde devam etmektedir (Rand ve Dell, 2005).

Fakat bu durum -söz konusu alandaki ticarileşme faaliyetleri doğal olarak geciktiğinden dolayı- hidrojen ağırlıklı bir enerji pazarının oluşmasını da yavaşlatmaktadır. Bu, bir anlamda hidrojen ekonomisinin oluşmasının ve gelişmesinin de gecikmesi anlamına gelmektedir. Bu gecikmeleri etkileyen bazı hususlar bulunmaktadır. Bunlardan en önemlileri, hidrojen yakıtının altyapı eksikliği, yüksek maliyetler ve farklı ülkelerin teknolojik düzeyleri arasındaki farklılıklardır. Hidrojenin üretim, taşıma, depolama ve kullanım aşamalarında güvenlik konusundaki fiziki eksiklikler, güvenlik ve kullanım standartlarının henüz yeterince oluşturulmamış olması ve kamu tarafından kabul edilirlilik düzeyinin henüz gelişmemiş olması gibi faktörler hidrojen enerjisinin sorunları arasında yer almaktadır. Mevcut sistemin fosil yakıtlarını destekleyen bir çatı niteliğinde olması, yakıt hücresi bileşenlerinin sınırlı şekilde elde edilebilirliği, hidrojen üretimi için mevcut talebin yetersizliği, global ortaklık veya hareket planlarının eksikliği gibi hususlar (McDowall ve Eames, 2006) hem fiziksel hem de pazar altyapısı bağlamında belirtilmesi gereken eksiklikler ve problemlerdir. Hidrojen enerjisine geçişin ilk aşamasında bu tarz sorunlarla karşılaşılması doğaldır ve bunların zaman içerisinde aşılabileceği söylenebilir.

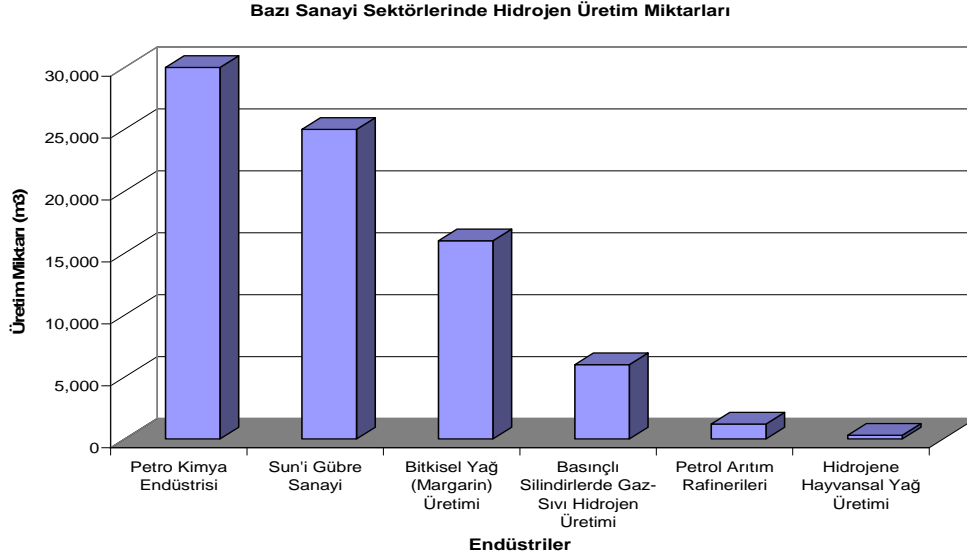
3. Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Teknolojilerinin Kullanım Alanları

Hidrojenin taşınabilir ve –örneğin, elektrik enerjisinden farklı olarak- depolanabilir olması, onun oldukça geniş bir alanda kullanımına imkân vermektedir. Hidrojenin bu kullanım çeşitliliği ta 1970’li yıllarda fark edilmiştir. Esasen hidrojenin ulaşım, endüstri ve ev ve ofislerde kullanımı çok yeni değildir. Halen dünyanın birçok yerinde evlerde kullanılmakta olan havagazı aslında hidrojen ve karbonmonoksidin bir karışımıdır. Zeplin ve bazı balonlar gibi hava taşıtlarında da hidrojen kullanılmaktadır. Ayrıca sanayide, petrolün rafine edilmesinde, amonyak ve metanol üretiminde, metalürji ve gıda sektörlerinde geniş olarak hidrojenden faydalanılmaktadır. Uzay mekiği roketlerinin yakıtı da hidrojendir.

2005’den itibaren hidrojen üretiminin dünyadaki ekonomik değerinin yılda 135 milyar \$ olduğu tahmin edilmektedir. Mevcut hidrojen üretiminin %48’i doğal gazdan, %30’u petrolden, %18’i kömürden ve geriye kalan %4’ü de elektrolizden yapılmaktadır (Otvav, 2007; <http://tr.wikipedia.org>). Ülkemizde de hidrojenin üretildiği sanayi sektörleri ve buralarda üretilen yaklaşık hidrojen miktarları aşağıdaki grafikte gösterilmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere; hidrojen, farklı alanlarda üretimi yapılan bir gazdır (Emir, 2005).

Cihat Polat, Nurcan Kılınc: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

Şekil 1: Hidrojen Enerjisinin Bazı Sanayi Sektörlerinde Üretim Alanları ve Üretim Miktarı



Veri Kaynağı: Emir, M. (2005)

Yukarıdakilere ve diğer birçok kullanım alanına ilave olarak bugün hidrojen üzerinde çalışılan ana konulardan birisi onun ulaşımda, sanayide evde ve ofislerde yakıt olarak ve elektrik üretimi amacıyla kullanımıdır. Araştırmaların önemli bir kısmı bu alana yoğunlaşmış durumdadır. Hidrojenin taşıtlarda yakıt olarak kullanılması yönünde önemli ilerlemeler kaydedilmiştir ve bunun önemli avantajlar sağlayacağı düşünülmektedir. Çünkü hidrojenin birim ağırlık başına enerji kapasitesi çok yüksek olduğu için hidrojenle çalışan hava taşıtlarının daha fazla yük taşıma kapasitesine sahip olacağı ve menzillerinde de önemli artışların olacağı beklenmektedir. Ancak benzinin yerini alabilmesi için henüz zamana ihtiyaç vardır.

Hidrojene dayalı teknolojik ürünlerden en yaygın olarak kullanılanı yakıt pilleridir. Yakıt pilleri, hidrojenden elektrik enerjisi elde etmek amacıyla geliştirilen bir teknolojidir. Yakıt pilleri, yakıt olarak kullandığı hidrojeni havadaki oksijenle birleştirerek direkt olarak izotermal bir işlemle elektrik enerjisine çevirmektedir. Mevcut tüm yakıt pilleri, hidrojen ve oksijenin su oluşturu fonksiyonundan faydalanarak elektrik üretmektedirler (Devlet Planlama Teşkilatı, 2001: 84). Temiz bir güç kaynağı olan yakıt pilleri, geleceğin teknolojisi olarak nitelendirilmektedir.

Yakıt pillerini klasik anlamdaki piller ile karıştırmamak gerekir. Buradaki yakıt pillerinden kasıt, elektrik enerjisi üreten hücreler (fuel cell) veya sistemler olarak algılamak gerekir. Yakıt pilleri, güç üretimi için büyük bir potansiyele sahiptir. Cep telefonlarının ihtiyacını karşılayacak kadar az veya bir kente yetebilecek kadar çok güç üretebilecek kapasitelerde tasarlanabilmektedirler. Bu nedenle, ulaşım araçlarından evsel ve endüstriyel uygulamalara kadar geniş bir kullanım ve uygulama potansiyeline sahiptirler (Tübitak, 2005).

Yakıt pilleri bugün birçok alanda kullanmak üzere tasarlanmış durumdadır. Ticari olarak ilk etapta diz üstü bilgisayarlar, cep telefonlarında ve el kameralarında hayatımıza gireceği beklenmektedir. Böylece; söz konusu cihazlar şu andaki mevcut pilleriyle iki-üç saat gibi

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

sürelerle çalışırken, yakıt hücresi ile en az otuz saat çalışması beklenmektedir. Bu pillerden elde edilecek verimliliğin çok daha yüksek olması beklenmektedir. Bu ise hidrojen enerjisine ve hidrojene dayalı teknolojiye geçişe ciddi oranda katkı sağlayacaktır. Ticarileşme yolunda önemli aşama kaydedilmiş olan bu sistemlerin 2009 yılından itibaren hayata girmesi beklenmektedir. Ev ve ofislerde kullanılacak kombi, klima ve ev-tabanlı elektrik üretim sistemleri gibi sistemlerin ise bunu takiben yakın bir zamanda kullanılmaya başlanacağı beklenmektedir. Bugün onlarca prototipinin yapılmış olmasına ve bu araçların deneme amaçlı olarak kullanılmalarına rağmen, otomobillerde kullanılacak sistemlerin yaygın olarak kullanımının biraz daha zaman alacağı ve 2020’li yıllara kadar uzayacağı tahmin edilmektedir. Otomobillerde kullanılacak yakıt pilleriyle ilgili de bir çok prototip dünyanın önde gelen firmaları tarafından geliştirilmiş durumdadır ancak yaygınlaştırılması için üzerinde biraz daha çalışmaya ve zamana ihtiyaç bulunmaktadır (Yıldırım, 2006).

Gerçi otomobil ve otobüsleri çalıştıracak güçte yakıt pilleri geliştirilmiş durumdadır ve bunlarla ilgili teknolojiler geliştirilmeye devam etmektedir. Ayrıca hidrojenin motorlarda ve içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılması konusunda yoğun çalışmalar yapılmaktadır (Sahanalan, 2006). Yukarıda da ifade edildiği üzere bugün karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi, hidrojenin depolanmasındaki kısıtlardır ve bu sorun henüz çözülememiştir ancak son yıllarda yoğunlaşan araştırmalar ve elde edilen gelişmeler, yakıt hücrelerinde de benzer gelişmelere neden olmuştur (Güvendiren ve Öztürk, 2003).

Bu doğrultuda, çeşitli amaçlarla ve uygulama alanlarında geliştirilen hidrojen teknolojilerinin ticarileştirilmesi yolunda ciddi mesafeler kaydedilmiştir. Bu alanlardan bazıları elektrik üretimi, ısınma, evsel yakıt pilleri, taşınabilir cihazlar, dizüstü bilgisayar ve cep telefonu bataryaları, ulaşım, yakıt pilli, melez (hibrit) yakıtlı otomobiller ve enerji dışı alanlar (metalürji ve cam sanayi) olarak sıralanabilir (Forsberg, 2006).

3.1. Ulaşım

Günümüzde hidrojen konusundaki çalışmaların önemli bir kısmı otomotiv sektörüne odaklanmıştır. Hidrojen içten yanmalı motorlarda yakıt olarak kullanılabilen ancak hidrojenin gerçek anlamda üstünlüğü, yakıt pillerinde ortaya çıkmaktadır. Otomobillerde kullanılabilecek kapasitedeki yakıt pilleri hâlihazırda uygulamaya geçmiş durumdadır. Söz konusu çalışmaların otomotiv sektöründe yoğunlaşmasının önemli nedenleri bulunmaktadır (Güvendiren ve Öztürk, 2003).

Otomotiv sektörünün en önemli özelliklerinden bazıları, bu sektördeki rekabetin son derece yüksek olması; pazarın oldukça büyük ve çeşitli olması, otomotiv üreticilerinin büyük firmalar olması, üretim ve kullanım maliyetlerinin yüksek olması, küçük oranlı maliyet avantajlarının bile hem kullanıcılara hem de üreticilere önemli avantajlar sağlayabilmesi gibi nedenler sayılabilir. Ayrıca, bu alandaki oyuncular genellikle uluslar arası oyunculardır. Bu oyuncular pazardaki rekabet güçlerini devam ettirebilmek veya pazar paylarını koruyabilmek için AR-GE çalışmalarına büyük önem vermektedirler. Pazarı her yıl yüzlerce yeni model sürülmektedir. Pazarın çok büyük olması, ihtiyaçların farklılığı, tüketici türlerinin farklılığı ve sürekli gelişen ürün özelliklerinin pazarda tüketimi teşvik etmesi gibi faktörler, -hidrojenin enerjisinin özellikleri ile birleşince- bu alanda uygulanabilirliğini araştırma yolunda önemli bir teşvik oluşturmıştır. Bu alanda elde edilecek başarılar, oldukça büyük bir pazarın –hatta kendi

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı:
"Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri" pazarı*

adıyla anılacak yeni bir ekonominin, hidrojen ekonomisinin- doğmasına neden olacağı düşünülmektedir.

Hidrojen ulaşım alanında kamyonlar, otobüsler ve otomobiller başta olmak üzere, tramvaylar, demiryolu, gemiler ve botlar, uçaklar ve uzay mekikleri gibi birçok taşıtta ve araçta kullanılabilmektedir. Bu alanların hemen hemen hepsinde uygulamalar mevcuttur ve önemli gelişmeler elde edilmiştir. Yakıt hücreleri özellikle otomobiller ve hafif kamyonlar için en büyük potansiyel pazar olarak görülmektedir. Bu pazarın büyüklüğü, dünya çapındaki birçok ticari firmayı bu alanda da AR-GE çalışmalarına yöneltmiştir. Otomobillerde kullanılmak üzere geliştirilen yakıt hücrelerindeki gelişmeler oldukça hızlı gerçekleşmektedir. Gelişmelere paralel olarak da teknoloji ve üretim maliyetleri giderek azalma eğilimi göstermektedir. Otomobil yakıt hücreleri için maliyetin \$150/kW veya daha az olması hedeflenmektedir. Hafif araçlar için ise maliyetlerin \$70/kW civarında olması hedeflenmektedir (The Outlook for Fuel Cells to 2010, 2005).

Hidrojen enerjisinin ulaşım alanındaki kullanım alanları oldukça geniş olmakla birlikte, aşağıdaki şekilde de bir sınıflandırma yapmak mümkündür:

- **Taşıt Uygulamaları:** IC motorları (özellikle sıkıştırılmış doğalgaz), yüksek yanma kabiliyetli motorlar, verim artırma, savunma sanayi, ulaşım ve taşımacılık gibi alanlar.
- **Denizcilik Uygulamaları:** Gemi motorları, savunma sanayi, deniz ulaşımı ve taşımacılığı gibi alanlar.
- **Havacılık Uygulamaları:** Gaz türbinleri, jet motorları, savunma sanayi, roketler, füzeler ve uzay sanayi gibi alanlar (Veziroğlu ve Barbir, 1992:391-399).

Dünyada ulaşım sektöründe hidrojen ve yakıt hücresel araç üretimine önem veren birçok otomobil şirketi bulunmaktadır. Avrupa’da, BMW, Fiat, Renault, Peugeot, Citroen, Volkswagen, Daimler Chrysler; Güney Kore’de, Hyundai; Çin’de, GM Patat; Japonya’da, Daihatsu, Honda, Toyota, Mitsubishi, Nissan, Suzuki, Mazda; Amerika’da ise Ford ve General Motor bu sektörün öncülüğünü yapmaktadır (Adamson, 2005c).

Son yıllarda hidrojenin kara taşıtlarında kullanımına yönelik olarak hidrojen yakıtını kullanan araçlar önemli oranda piyasaya girmiştir. Yolcu araçlarında BMW, Renault ve Zevco; kamyonet tipi araçlarda Daimler-Benz, PSA ve Zevco; şehir otobüslerinde ise Ansaldo, Daimler-Benz, MAN ve Neoplan firmaları, hidrojen ile çalışan araçlarını gösterime sunmuş durumdadırlar. Ayrıca, araçların %65’inin skoter (küçük motosiklet) olduğu Tayvan’da yakıt hücresel skoter kullanımı önemli oranda desteklenmektedir. ZES (Zero Emission Scooter - Sıfır Emisyonlu Skoter) adlı bir skoter, Asya Pasifik Yakıt Hücre Teknolojisi Ltd. ve Kwang-Yang Motor Co. işbirliği ile halihazırda üretilmektedir. Bu ortamda mevcut petrol şirketlerinin alternatif bir enerji olarak hidrojene henüz çok sıcak bakmadıkları tahmin edilse de, son yıllarda bu bakış açısının giderek değiştiği gözlenmektedir. Örneğin; Londra’da Royal Dutch Shell, Shell Hidrojen adını verdiği şubelerine hidrojen konusunda araştırma yapmaları için 500 milyon \$ yatırım yapmıştır. BP’nin de benzer bir girişimde bulunduğu bilinmektedir (Ün, 2003). Bu örnekler, bakış açısında değişiklikler olduğuna işaret etmektedir. Zamanla bu konuda daha fazla ilerlemeler olması beklenebilir. Esasen, söz konusu petrol şirketlerinin mevcut fiziki altyapıları, enerji

Cihat Polat, Nurcan Kılınc: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

konusundaki birikimleri, ekonomik potansiyelleri, mevcut pazar payları vb. veriler dikkate alındığında, bu şirketlerin hidrojen konusuna uzun süre kayıtsız kalamayacakları ve kalmayacakları tahmin edilebilir. Ayrıca, bu alandaki teknolojik ilerlemelerin ve Pazar koşullarının bu firmalar mevcut duruma adapte olmaya zorlayacağı da açıktır.

Ulaşım sektöründe yakıt hücresiyle çalışan araçların geliştirilmesi, petrol tüketimini azaltacağı gibi araçlardan kaynaklanan hava kirliliğini de minimum düzeye indirecektir. Yakıt hücreli otobüs üretimini gerçekleştiren Kanada’nın Ballard Şirketinin yanı sıra General Motors, Ford, Chrysler, Toyota, Honda, BMW ve Renault da yakıt hücreleriyle çalışan otomobilleri üreterek en kısa sürede ticarileştirebilmek için önemli bir çaba içerisinde. 1993’ten bu yana üretilen çok sayıda prototip araç bunu göstermektedir. Taşıtlarda hidrojenin içten yanmalı motorlar veya yakıt pilleri aracılığıyla kullanımı konusunda da önemli çabalar mevcuttur. Bunlar arasında Daimler-Benz şirketinin sıfır emisyonlu minibüsü; BMW, Dodge, Buick ve Suzuki firmalarının deneme aşamasındaki otomobilleri; Macchi-Ansoldo’nun ve MAN firmasının SL202 otobüsleri; Kanada demiryollarının Lokomotifleri ve Almanya, Avustralya ve Kanada donanmaları için imal edilen deniz altılar gösterilebilir (Adamson, 2005c, BilgiUstam, 2007).

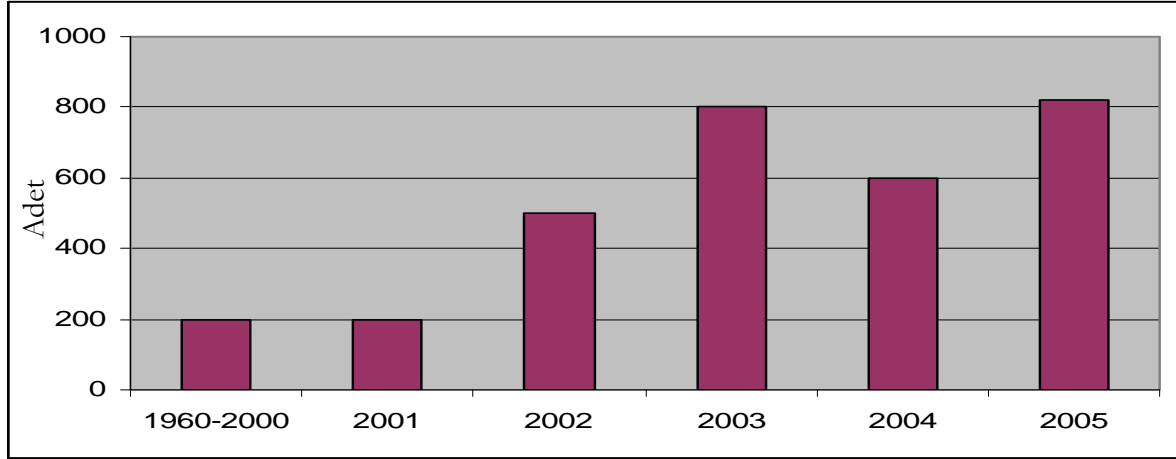
Bu –hemen hemen tamamı uluslar arası olan- firmaların bu alana yönelmiş olmaları ve birçoğunun prototip üretimlerini gerçekleştirerek deneme aşamasına geçmiş olmaları bile tek başına hidrojen enerjisinin ve hidrojen teknolojilerinin geleceği hakkında önemli ipuçları vermektedir. Bu durum, söz konusu firmaların hem teknolojik gelişmelere öncülük etmek hem de teknolojik gelişmelerin ardında kalmamak gibi hassasiyetleri ve ticari bakımdan verimli olmayacaklarını düşündükleri alanlara büyük miktarlarda yatırım yapmayacaklarına dair temel işletmecilik bilgisiyle birleştirildiğinde daha anlamlı hale gelmektedir. Kısaca, mevcut durum hidrojen enerjisinin ve hidrojen teknolojileri pazarının geleceğiyle ilgili beklentileri ve görüşleri yeterince desteklemektedir.

3.2. Sabit (Ev ve İşyeri) Kullanım Alanları

Yakıt hücrelerinin sabit (ev ve işyerlerindeki) kullanım alanları da oldukça geniştir. Yakıt hücreleri, evlerde ve iş yerlerinde enerji (elektrik, ısıtma, soğutma vb.) ihtiyacını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Hâlihazırda, Japonya’nın bazı kentlerinde evlerde yakıt hücresi ile elektrik üretiminin yapıldığı ve ısınmanın buna dayalı olarak gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu alanda sağlanan başarılar, sabit kullanımları hızlı bir şekilde artırmakta ve bu pazarın büyümesine imkân sağlamaktadır. Yani, yakıt hücrelerine dayalı elektrik üretimi, ev ve işyerlerinde hızla artmaktadır (Adamson, 2005b; Adamson ve Crawley, 2006). Şekil 2’de, yıllara göre sabit kullanım miktarındaki (birim cinsinden) artışlar gözlenmektedir.

Cihat Polat, Nurcan Kılınc: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

Şekil 2: Sabit Kullanım Piyasası (Ürün Adedi)



Kaynak: Adamson, K. A (2005b)

Sessiz çalışan yakıt hücreleri, evlerde veya işyerlerinde ısıtma ve elektrik ihtiyacını – eşzamanlı olarak- sağlama potansiyeline sahip önemli bir alternatiftir. Bu tipte kullanılabilecek yakıt hücreleri, propan ve doğal gazdan elektrik üretmekte ve oluşan ısı geri kazanılarak ısıtma sistemlerinde kullanılabilmektedir. 3-5 kW’lık yakıt pillerinin ev kullanımı için yeterince uygun olduğu belirtilmektedir. Ayrıca, bu teknolojinin –hidrojen yakıt hücrelerinin- konutlardaki kullanımı Amerika’da teşvik edilmekte ve 1000\$/kW vergi indirimi sağlanmaktadır (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

Dünya’da sabit kullanımlarda hidrojen enerjisi ve yakıt hücreleri kullanan önemli oyuncularından bazıları; Amerika’da Acumentrics, Altergy Freedom ve Aperion Enerji Sistemi GenCell; Japonya’da Sumitomo, Fuji Elektrik, Nippon Steel, Hitachi ve Kawasaki Heavy Endüstrisi; İngiltere’de Alternatif Yakıt Sistemleri ve Seramik Yakıt Hücreleri ve Kanada’da da Ballard’dır. Türkiye’den bazı firmaların da bu firmalardan bazıları ile AR-GE konusunda ortak girişimleri mevcuttur (Adamson, 2005b).

3.3. Portatif Kullanım Alanları

Hidrojen enerjisinin mevcut koşullarda en geçerli ve uygulanabilir olduğu alan, taşınabilir enerji uygulamaları olarak gözükmektedir. Bu kapsamda depolanmış hidrojen-yakıt hücresi sistemi, mevcut pillerin kapasite ve ömür olarak gelişmiş şeklidir. Bu alan, gerek depolamada gerekse yakıt hücrelerinde hafifliğin ön plana çıktığı uygulamaları içermektedir (Güvendirici ve Öztürk, 2003).

Hidrojen ve yakıt hücrelerinin birçok portatif kullanım alanı bulunmaktadır. Cep telefonları, bataryalar, dizüstü bilgisayarlar, dijital kameralar, video kameralar ve mobil araç uygulamaları (Portatif Device Applications – PDAs) bu kullanım alanları arasındadır. Cep telefonları yakıt hücreleri için en büyük pazar potansiyeline sahip gözükmektedir. Örneğin; dünyada 2004 yılında 8,6 milyon cep telefonu satılırken, 2009 yılında bu rakamın 463,8 milyona çıkması beklenmektedir. Dizüstü bilgisayarlar ise yakıt hücreleri için ikinci en büyük pazar potansiyelinde sahip alan olarak nitelendirilmektedir (Breakthrough Technologies Institute, 2003). Portatif yakıt hücreleri, -pazara sunulduğunda- cep telefonu ve bilgisayar gibi

Cihat Polat, Nurcan Kılınc: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

portatif uygulamalarda bir ay gibi uzun bir süre bile şarj edilmeksizin kullanım imkanına sahiptir. Ayrıca, yakıt hücrelerinin telekomünikasyon, bilgisayar, görüntü teknolojileri ve alarm sistemleri gibi alanlarda da taşınabilir güç kaynağı olarak uygulamaları mevcuttur. (Çetinkaya ve Karaosmanoğlu, 2004).

Şekil 3: Hidrojen Teknolojilerinin Dünyadaki Tahmini Portatif Kullanım Alanları (milyon \$)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	BYBO/CAGR (Bileşik Yıllık Büyüme Oranı)
Kuzey Amerika	266	440	682	801	889	988	30.0%
Avrupa	174	295	490	545	610	687	31.6%
Asya	176	272	402	422	442	467	21.6%
Dünya	616	1.007	1.574	1.768	1.941	2.142	28.3%

Kaynak: Breakthrough Technologies Institute (2003)

Şekil 3’te hidrojen teknolojilerinin dünyanın farklı bölgelerinde ve dünya genelinde tahmini kullanım miktarı (milyon \$ olarak tahmini pazar büyüklüğü) gösterilmektedir. Tabloda bütün bölgeler itibarıyla çok hızlı bir büyüme trendi açık bir şekilde gözükmemektedir. Bu çerçevede, dünyanın önemi oyuncularını pazarda yerlerini almış durumdadır. Dünyada portatif araçlarda hidrojen enerjisi ve yakıt pillerini kullanan ve pazarda yer alan önemli oyuncuların bazıları arasında Samsung, Toshiba, Protonex, Sanyo Elektrik, Matsushita Battery ve Hitachi sayılabilir.

4. Hidrojen Enerjisi ve Hidrojen Teknolojileri Konusunda Dünya’daki Araştırma-Geliştirme Çalışmaları ve Hidrojen Tabanlı Pazarlar

Hidrojen enerjisi ve hidrojen teknolojileri konusundaki çalışmalar dünyanın birçok ülkesinde yürütülmektedir. Bu çalışmaların önemli bir kısmının uluslararası işbirliği programları şeklinde olduğu gözlenmektedir. Avrupa Birliği ile Kanada’nın EURO-QUEBEC (hidro-hidrojen) projesi, Norveç ve Almanya’nın NHEG projesi, Almanya ve Suudi Arabistan’ın HY-SOLAR (güneş-hidrojen) Projesi, İskandinav ülkeleri ile Yunanistan’ın işbirliği, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) hidrojen enerjisi projeleri ve Birleşmiş Milletler UNIDO-ICHET hidrojen çalışmaları bu konudaki örneklerden bazılarıdır (Tüsiad, 1998; Fernandes vd., 2005).

Hidrojen Teknolojileri Merkezi şu anda dünyanın yedi değişik ülkesinde yedi adet proje başlatmış durumdadır. Bu projeler; Çin’de, *Hidro Hidrojen Projesi*: Çin’deki bir bölgenin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla su enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretilmesi planlanmaktadır. Türkiye’de, *Hidrojenle Çalışan Otobüs Projesi*: İstanbul’da, hidrojenle çalışan otobüslerin hizmete sokulmasını ve bunlar için gerekli hidrojenin gece kullanılmayan

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

elektrikten elde edilmesini öngörmektedir. Üç yıl içerisinde hidrojenle çalışan otobüslerin İstanbul’da hizmet vermesi beklenmektedir. Bu otobüslerden bazılarının hidrojen yakıt pilleriyle; bazılarının ise hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlar ile çalışması planlanmaktadır. *Arjantin’de, Rüzgârdan Hidrojen Üretimi Projesi:* Arjantin’deki bir bölgenin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla rüzgâr enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretilmesi planlanmaktadır. *Güney Kore’de, Hidrojenle Çalışan Otomobil/Otobüs Projesi:* Proje, Güney Kore’nin güneydoğusunda Chonnam Bölgesi’nde bir hidrojen yakıtlı otomobil filosunun faaliyetini öngörmektedir. Gerekli hidrojen, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elde edilecektir. *Türkiye’de, Bozcaada’da Hidrojen Projesi:* Proje, nüfusunun kış dönemlerinde 3,000; yaz dönemlerinde ise 10000 olan Bozcaada’da rüzgâr enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretimini öngörmektedir. Hidrojen, yerli sanayi ve taşıma için gereken yakıt da dâhil olmak üzere, ada halkının yakıt ihtiyacını gidermek amacıyla kullanılacaktır. *Libya’da, Güneş Enerjisinden Hidrojen Üretimi Projesi:* Proje, Libya’daki bir bölgenin enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla güneş enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretimini içermektedir. *Hindistan’da, Hidrojenle Çalışan Üç Tekerlekli Araç Projesi:* Proje, Hindistan Delhi’de hidrojen yakıtlı üç tekerlekli araçlardan oluşan bir filonun oluşturularak hizmete sokulmasını içermektedir. Gerekli hidrojen, yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra kullanılmayan elektrikten faydalanılarak elde edilecektir (Hidrojentürk, 2005).

Dünyanın farklı bölgelerinde yürütülen bu tür çalışmalara ilave olarak, hidrojen konusunda asıl ağırlıklı ve yoğun çalışmaların ABD, Avrupa ve Japonya’da yürütüldüğünü belirtmek gerekir. Esasen –genel olarak ifade etmek gerekirse- buralarda yürütülen çalışmalar bu alandaki ilerlemelerin öncülüğünü yapmaktadır; çünkü devasa nitelikteki enerji pazarından pay elde edebilmenin temel şartı, en kısa sürede ticarileşerek pazara girebilmektir. Bu ülkeler de bu alanda diğer ülkelere nazaran hem araştırma-geliştirme hem de ticarileşme yönünde önemli mesafeler kat etmiş durumdadırlar. Bu alandaki çalışmalar ve beklenen pazar büyüklükleri hakkında fikir vermek amacıyla aşağıda çeşitli ülkelerdeki durumun kısa bir şekilde gözden geçirilmiş şekli ve bununla ilgili bir durum özeti sunulmuştur.

Amerika’da 2005 yılındaki hidrojen piyasasının büyüklüğünün 798,1 milyon \$ civarında olduğu tahmin edilmiş ve bu rakamın 2010 yılında 1,605.3 milyon \$’a yükselmesi beklenmektedir (Fuji-Keizai, 2005). 2003 yılından itibaren gelecek 5 yıl için yalnızca yakıt hücrelerinin ARGE faaliyetleri için toplam \$1,7 milyar harcama planlandığı belirtilmektedir (<http://www.oecd.org>). Brezilya ve Güney Amerika’da en büyük hidrojen tesisi “Haipu” kurulmuştur. Burada hidrojen gazı üretilir (Momirlan ve Veziroğlu, 2002). Büyük ve gelişmiş bir endüstri olan hidrojen üretimi sayesinde dünyada 2004 yılında yaklaşık 50 milyon metrik ton hidrojen üretildiği ve büyüme hızının da yılda %10 civarında olduğu bilinmektedir. Yalnızca Amerika içindeki hidrojen üretiminin ise 11 milyon metrik ton olduğu tahmin edilmektedir. Diğer bir ifade ile dünyadaki hidrojen üretiminin %25’i yalnızca Amerika’da yapılmaktadır (<http://www.hidrener.com>). Amerika’da petrol, doğalgaz ve kömür gibi fosil tabanlı yakıtlardan hidrojen enerjisine geçişin 2030’lu yıllarda büyük bir oranda gerçekleşeceği beklenmektedir (Yıldırım, 2006).

Avrupa’da 2003–2006 yıllarında yenilenebilir enerji için \$2,1 milyar harcamıştır. Bunun önemli bir kısmı hidrojen enerjisi için yapılmıştır (<http://www.oecd.org>). Avrupa’daki hidrojen enerjisi piyasası 2005 yılı itibarıyla \$368 milyar civarında tahmin edilmiştir ve bu rakamın 2010 yılında ortalama yıllık %15’lik büyüme ile \$740 milyara ulaşması

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı:
"Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri" pazarı*

beklenmektedir (Fuji-Keizai, 2005). Avrupa Birliği’nin CUTE adlı bir projesine göre, Helsinki’den yola çıkan bir aracın Avrupa ve Türkiye turundan sonra tekrar Helsinki’ye dönebilecek bir altyapının sağlanması planlanmıştır. Bu aracın gezi sırasında yakıt sıkıntısı çekmemesi için bir hat çizilmiş ve gezinin yapılacağı hatta hidrojen istasyonları kurularak aracın gezi sırasında yakıt sıkıntısı olmaksızın seyahat etmesinin sağlanması hedeflenmiştir. Bu alt yapının 2011 yılında tamamlanması planlanmaktadır. Projenin alt yapısı hâlihazırda Kuzey Avrupa ülkelerinde tamamlanmış durumdadır (Yıldırım, 2006; Muneer ve Kubie, 2003).

Ayrıca Daimler Chrysler Avrupa’nın en kalabalık 10 şehrinde denenmek üzere birer adet hidrojen yakıtı ile çalışan “CİTARO” adlı “0” emisyonlu ve 70 kişi taşıma kapasiteli toplu taşıma aracını test etmek üzere vermiş durumdadır. CİTARO, 600 Volt 200 KW’lık bir elektrik motoru ile hareket etmektedir. Altı kademli hız kutusuna sahip ve 9 çelik tüplük deposu 350 barda 40 kg hidrojen taşımaktadır. CİTARO fosil yakıtlı otobüslerin aksine statik halde iken elektrik ürettiğinden, ısıtma ve soğutma sistemlerini her an çalıştırabilme özelliğine sahiptir. Projenin amacı, farklı iklim koşullarında ve arazi şartlarında araçların verimini test etmektir. Bilindiği üzere büyük şehirlerde trafik yoğunluğunda fosil yakıt kullanan toplu taşıma araçları büyük ölçüde egzozları ile büyük miktarda hava kirliliğine sebep olmaktadır. Hidrojen yakıtı ile çalışan araçlarda ise egzoz olarak az miktarda saf su çıkmaktadır (<http://sifirforum.net/>).

Bir pazarın geleceği ile ilgili tahminler, o pazarla ilgili beklentileri yansıtmaları bakımından önemlidir. Avrupa otomobil pazarıyla ilgili tahminler de bu pazarın büyüme beklentileri hakkında önemli bilgiler içermektedir. Şekil 4’te hidrojen teknolojilerinin Avrupa’daki araba sayıları, yakıt istasyonları ve maliyetlerinin tahmini pazar büyüklüğü gösterilmektedir. Avrupa’da hidrojenle çalışan otomobillerle ilgili çok hızlı bir büyüme trendi beklendiği gözükmemektedir. Bu durumun hidrojen tabanlı otomobil pazarını ve bu alandaki gelişmeleri olumlu yönde etkileyeceği açıktır.

Şekil 4: Avrupa’da Hidrojenle Çalışan Otomobillerin Yıllara Göre Tahmini

Yıl	Otomobiller / Milyon Adet	Hidrojen Yakıt İstasyonları / Adet	Maliyet / Milyon Euro
2015	0.7	885	453
2020	6.1	2,791	3,524
2030	41.2	18,628	18,512

Kaynak: Menzen ve Neef (2005)

İngiltere’de 2005 yılı itibarıyla hidrojen ve yakıt hücreleriyle ilgili 375’in üzerinde proje bulunduğu belirtilmektedir. İngiltere AR-GE faaliyetleri için 670 milyon £ ayırmış ve bu miktarın 280 milyon £ kısmı bizzat hükümet tarafından sağlanmıştır. İngiltere’deki projelerin toplam maliyetinin 276.000.000 £’i aştığı belirtilmektedir (Harrison, 2006). Bu arada bazı deneme programları başarıyla tamamlanmıştır. 2004 Ocak ayında Londra’da iki otobüsle başlanan ve 2005 Aralık ayında tamamlanan yakıt hücresi deneme programı bunlar arasındadır (Fernandes vd., 2005).

İtalya’da son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının üzerinde daha fazla durmaya başlamıştır. 1996 yılında özel ve kamu sektörü AR-GE çalışmaları için 70,4 milyon \$ harcamıştır. İtalya’nın 2012 yılında yenilenebilir kaynaklardan enerji üretmeyi planladığı

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

belirtilmektedir. Bu ülkenin yalnızca yakıt hücresi teknolojilerinin gelişimi için 1994–1998 yılları arasındaki AR-GE harcamalarının toplamı 56 milyon \$’ı bulmaktadır (Evans, 1999). İtalya Almanya’dan sonra Avrupa’da hidrojen teknolojilerinin gelişimi için en fazla parasal yatırım yapan ikinci ülke konumunda gözükmektedir. 2004 yılı itibarıyla üç yıllık periyotlar halinde AR-GE çalışmalarına 90 milyon Euro harcamıştır. Bu alandaki bütçesinin %42’lik AR-GE payı ile en çok PEM yakıt hücresine ağırlık verdiği gözükmektedir. Kullanım alanları arasında ise %55’lik oran ile ulaşım ilk sırada gelmektedir. Ulaşımı %26 ile sabit kullanımlar ve %19 ile taşınabilir kullanım alanları takip etmektedir. İtalya’da hidrojen teknolojileri konusunda anahtar konumda olan kurumlar arasında ise Ansaldo Fuel Cells, İtalyan skoter ve motorlu bisiklet üreticisi Aprilia, Celco Profil, Centro Richerce Fiat, Nuvera Fuel Cells başta gelmektedir (Geiger, 2004).

Almanya’nın yakıt hücreleriyle ilgili AR-GE çalışmaları 1974’lere kadar gitmektedir. Almanya, yakıt hücreleriyle ilgili AR-GE çalışmalarını özellikle son on yılda yoğunlaştırmış durumdadır. Alman hükümeti, yakıt hücreleri için 2004 yılında 8–10 milyon € arasında bir AR-GE bütçesi ayırmış ve bu rakam özel sektörün de katılımıyla yıllık 16–20 milyon €’yu bulmuştur (Neef, 2004). Almanya’da Neurenburg yakınlarında küçük bir hidrojen enerjisi sisteminin kurulduğu bir program yürütülmektedir. Almanya ayrıca Suudi Arabistan ile ortak yürüttüğü Hysolar programı ile Suudi Arabistan’ın Riyad yakınında solar hidrojen üretim tesisi kurulması planlanmaktadır (Abaoud and Steeb, 1998: 445–449). Bu program hala devam etmektedir ve program çerçevesinde güneşten enerji üretimi sağlanmaktadır. Ayrıca Almanya’da 1995’ten bu yana eyaletler arasında da çeşitli araştırma programları yürütülmektedir. Örneğin, Almanya’nın güneyinde bulunan Baviera eyaleti ile IPHE (Institute of Plumbing and Heating Engineering) arasında Baysolar adlı program yürütülmektedir. Ayrıca Almanya’da hidrojenle çalışan küçük otobüsler, küçük traktörler ve küçük yük taşıtları pazarları gelişmiş durumdadır. Hidrojen altyapısı, küçük mobil yakıt hücreleri ve taşınabilir araçların kullanımında daha fazla gelişmiş durumdadır (Menzen ve Neef, 2005).

Fransa’nın yakıt hücreleriyle ilgili AR-GE çalışmalarının başlangıcı çok daha eskilere, 1960’lı yıllara dayanmaktadır. Bu ülkede, 2004 yılındaki hidrojen ve yakıt hücresi AR-GE harcamalarının % 57’sini özel sektör, % 43’ünü de kamu sektörü gerçekleştirmiştir. Bu, konuya verilen önemin derecesini göstermesi bakımından anlamlıdır. Ayrıca Fransa’daki projelerin % 52’sinin yakıt hücreleri; %32’sinin ise hidrojenle ilgili olduğu belirtilmektedir. Fransa’da hidrojen teknolojileri konusunda araştırma yapan çeşitli kamu araştırma merkezleri bulunmaktadır Bunlardan bazıları CEA (Atomic Energy Commission), CNRS (Centre National de Recherche Scientifique) ve IFP (Institut Français du Pétrole)’dır. CEA hidrojen üretimi, depolanması, PEM ve SOFC yakıt hücreleri üzerine çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalar farklı merkezlerde 135 araştırmacı tarafından yapılmaktadır. CNRS de hidrojen ve yakıt hücresi ile ilgili çok büyük araştırmalar yapan gelişmiş bir merkezdir. IFP ise yıllardır hidrojen üretimi, depolanması, kullanımı ve ulaşımı üzerinde araştırmalar yapmaktadır (Fernandes vd., 2005; <http://www.iphe.net>).

Fransa’nın hidrojen alanındaki AR-GE çalışmalarına verdiği önem artarak devam etmektedir. Kamu ve özel ortaklığı ile oluşan Ulusal Araştırma Merkezi (National Research Agency) 2005 yılında 30 milyon € ve 2006 yılında 40 milyon € AR-GE harcaması yapmıştır. Hidrojen için 2006 yılında ayrılan 40 milyon € bütçenin %55’i yakıt hücresi için, %20’si, hidrojen üretimi için, %20’si ulaşım, dağıtım ve depolama için ve diğer %5’i ise farklı

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

alanlardaki faaliyetler için ayrılmıştır. Fransa aynı zamanda Avrupa’da hidrojen ve yakıt hücreleriyle ilgili birçok projede yer almaktadır (Frois, 2006).

Japonya, ABD ve Avrupa Birliği’nin yanında hidrojen enerjisi ve hidrojen teknolojileri konusunda en fazla çalışmaların yapıldığı öncü ülkelerden birisidir. Japonya’nın hidrojen ve yakıt hücreleri için ayırdığı AR-GE bütçesi 2003 yılında 30,7 milyar ¥ (yaklaşık 316 milyon \$) civarındadır. Japonya’da hidrojen ve yakıt hücrelerinin piyasa değerinin 2012 yılında 3,9 milyar \$’a ulaşması beklenmektedir (<http://strategis.ic.gc.ca>). 2004 yılında yalnızca yakıt hücreleri için yapılan ARGE harcamaları 320 milyon \$ civarındadır (<http://www.oecd.org>).

Japonya’da hidrojen ve hidrojen teknolojileri ile ilgili bir çok farklı alanda çalışmalar devam etmekte ve büyük çaplı projeler yürütülmektedir. Örneğin; WE-NET (World Energy Network) projesi ile Tokyo metropolünde hidrojen kullanımı ile oluşacak azot oksit emisyonundaki azalma potansiyeli araştırılmaktadır. WE-NET Programı Japonya’nın Uluslararası Ticaret ve Endüstri Bakanlığınca desteklenen bir program olup, Japonya hidrojen enerji sisteminde ilerleme sağlamak amacıyla 2020 yılına kadar 4 milyar \$ dolayında bir harcama planlanmaktadır (Momirlan and Veziroğlu, 2002:141–179). Bütün bu rakamlar bile tek başına Japonya’nın konuya ne derece önem verdiğini göstermesi bakımından önemlidir. Zaten Japonya, şu an itibarıyla hidrojen teknolojileri konusunda ABD ve AB ile baş başa gitmektedir ve belki de daha ileri olduğu iddia edilebilir.

Çin de, dünyanın en hızlı gelişen ve en büyük ekonomilerinden birisi olarak hidrojen teknolojileri konusunu oldukça yakından takip eden ülkelerden birisidir. Çin’in 2004 yılı hidrojen enerjisi ve yakıt hücreleri altyapısı için AR-GE yatırımlarının miktarı yaklaşık 2,8 milyar \$ civarındadır (<http://strategis.ic.gc.ca>). 2002 yılı itibarıyla Çin’de yıllık alternatif yakıt piyasasının 75 milyon \$ olduğu; bu rakamın 2008 yılında ise 1,8 milyar \$’a ulaşması beklenmektedir. Çin dünyadaki yakıt hücreleri pazarı için en büyük potansiyellerden birine sahiptir. Özellikle ulaşım sektörü, Çin’de yakıt hücreleri için en önemli pazarlardan biri olarak nitelendirilmektedir (Feller, 2004). Çin bazı alanlardaki uygulamalar bakımından ilk sıralara yerleşmiş bir ülkedir. Örneğin; yakıt hücresi ile çalışan otobüs üretiminde 2003 yılında 66 700 adet; 2004 yılında ise 78 712 adet üretimle dünyada ilk sırada yer almaktadır. Çin’i sırasıyla Amerika, Brezilya, Rusya ve Güney Kore izlemektedir (Jingguang, 2006).

Çin de, Japonya’da olduğu gibi bu alanda büyük projeleri uygulamaya koymuş bir ülkedir. Örneğin; Hidro Hidrojen Projesi bunlardan birisi olarak gösterilmektedir. Bu proje ile Çin’deki bir bölgenin enerji ihtiyacının su enerjisinden elde edilen hidrojen üretimiyle sağlanması amaçlanmaktadır (Hidrojenturk, 2005). Çin, mevcut ekonomik potansiyeli, bu alanda yaptığı çalışmalar, yatırım miktarları ve elde ettiği teknoloji düzeyi ile hidrojen ve hidrojen teknolojileri alanında dünyanın en büyük pazarlarından birisi olmaya şimdiden aday olduğunu göstermiş durumdadır.

Güney Kore de bu alandaki gelişmeleri yakından takip eden ülkelerden birisidir. Güney Kore hükümeti, hidrojen enerjisi ve yakıt hücrelerinin gelişimi için özel bir AR-GE programı oluşturmuştur. Bu program çerçevesinde AR-GE faaliyetleri ve diğer çalışmalar 2003–2005, 2006–2008 ve 2009–2012 olmak üzere üç aşama olarak planlanmıştır (Adamson, 2005a). Güney Kore’nin 2004 yılındaki AR-GE bütçesi %4,8’lik artış ile 2,17 milyar \$ civarında olmuştur. Bu bütçenin büyük kalemleri şunlardır. 52,3 milyon \$’ı temel AR-GE programı için; 97,1 milyon \$’ı endüstri teknolojisi için; 26,6 milyon \$’lık bir kısmı ise sağlık ve çevre

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

araştırmaları için ayrılmıştır (<http://seoul.usembassy.gov>). Güney Kore de ulaşım alanında “Hidrojenle Çalışan Otomobil/Otobüs Projesi”ni yürütmektedir. Bu proje ile Güney Kore’nin güney doğusunda Chonnam Bölgesi’nde hidrojen yakıtlı bir otomobil filosunun çalıştırılması planlanmıştır. Gerekli hidrojen, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elde edilecektir (Hidrojenturk, 2005). Güney Kore, son yılların en hızlı gelişen ve özellikle elektrik-elektronik ve otomotive konularında yaptığı sıçrama ile kendisini kabul ettiren bir ülke olarak hidrojen teknolojisi konusunda da var olduğunu gösteren bir ülke durumundadır.

Kanada geçmiş 20 yıl boyunca hidrojen ve yakıt hücresi sektörüne yıllık 200 milyon \$’dan fazla AR-GE yatırımı yapmış bir ülkedir (<http://strategis.ic.gc.ca>). Avrupa topluluğu ile Kanada hükümeti arasında 100 MW’lık hidroelektrik gücünün hidrojene çevrilerek Avrupa’ya nakli için fizibilite çalışmaları yapmaktadırlar. Hidroelektrik fazlalığı bulunan Kanada hükümeti fazla elektrik enerjisini elektroliz yolu ile hidrojene çevirip, tankerler ile Avrupa’ya ulaştırmayı planlamaktadır. Hidrolik potansiyelden, güneş enerjisinden veya rüzgâr enerjisinden elde edilen düzensiz enerji türleri, hidrojene çevrilmek sureti ile istediğiniz zaman kullanmak üzere stoklanabilmektedir (Fernandes vd., 2005; <http://sifirforum.net>). Kanada’nın bu alandaki çalışmaları dikkat çekicidir.

İzlanda, hidrojen enerjisindeki gelişmeler bakımından en dikkat çekici ülkelerden birisidir. İzlanda, hidrojen konusunda kendi yirmi yıllık perspektifini hazırlamış ve 20 yıl sonra Avrupa’nın, hatta tüm dünyanın hidrojen üretim merkezi olacağını açıklamış bir ülkedir. İzlanda üniversitelerinde yapılan master ve doktora tezleri ile yapılan bilimsel çalışmaların birçoğu, hidrojen üretimi ve depolamasına ilişkindir. İzlanda hükümeti, büyük kuruluşlara hidrojen alanında çalışmaları durumunda teşvik ve hidrojen üzerine faaliyette bulunmak üzere açılan şirketlere beş yıl boyunca vergi muafiyeti gibi destekler sağlamaktadır. Hidrojen konusundaki bu uygulamaların henüz 7–8 yıllık bir geçmişi olmasına rağmen İzlanda bu alanda oldukça ileri bir duruma gelmiştir. Türkiye ve İzlanda’yı karşılaştıracak olursak; İzlanda’nın Türkiye’den bu konuda yaklaşık 20–30 yıl ileride olduğu iddia edilebilir (Yıldırım, 2006). Bu alandaki uygulamalar oldukça mesafe kat etmiş durumdadır. Örneğin; İzlanda’da üç otobüs ve bir gemi şimdiden hidrojen enerjisi ile çalışmaktadır. İzlanda, 2050 yılında hidrojene dayalı bir ekonomiye -hidrojen ekonomisine- geçmeyi, ülkedeki tüm otomobilleri, otobüsleri ve diğer taşıtları tamamen hidrojenle çalıştırmayı ve yakıt ihtiyacını tamamen hidrojenden karşılayarak petrol bağımlılığından kurtulmayı hedeflemektedir. Bu çerçevede sıkıştırılmış hidrojenle çalışan küçük bir şehir içi otobüs filosu deneme amaçlı olarak faaliyetlerini sürdürmektedir. Ayrıca; balıkçı filolarının hidrojen enerjisi kullanmasına dair araştırmalar ve -maliyeti büyük ölçüde enerjiye dayanan- alüminyum ergitme tesisi gibi tesislerin kurulmasına yönelik çalışmalar devam etmektedir (Maack ve Skulason, 2005; <http://dwelle.de>; <http://tr.wikipedia.org/>).

5. Hidrojen ve Hidrojen Teknolojileri Konusunda Türkiye’deki Araştırma-Gelişme Çalışmaları ve Türkiye Hidrojen Pazarının Durumu

Türkiye, ciddi oranda enerji açığı bulunan bir ülke durumundadır ve bu durum son yıllarda -resmi kanallar da dâhil olmak üzere- çeşitli kanallardan sık sık gündeme getirilmektedir (Hamzaçebi, 2006; Kaya, 2006).

Türkiye, enerji ihtiyacının çok büyük bir kısmını geleneksel enerji kaynaklarından sağlamaktadır. Örneğin; enerji ihtiyacının %85 gibi çok büyük bir kısmının kaynağını petrol, taşkömürü, doğalgaz ve linyit oluşturmaktadır. Ayrıca enerjisinin % 70 veya daha fazlasını da

Cihat Polat, Nurcan Kılınc: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

ithal kaynaklardan sağlayan bir ülke durumundadır (Turan, 2006). Örneğin; 2004 yılı itibarıyla Türkiye’deki birincil enerji kaynakları üretimi 25,2 Mtep (Milyon ton petrol eşdeğeri), genel enerji tüketimi ise 87,8 Mtep olarak gerçekleşmiştir –ki bu durumda, üretimin tüketimi karşılama oranı % 29 civarındadır. Genel enerji tüketiminde %38 ile petrol, %27 ile kömür, %23 ile doğal gaz ve geriye kalan %12’lik pay ile de -hidrolik dâhil olmak üzere- yenilenebilir kaynaklar gelmektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, 2007).

Türkiye’nin geleneksel enerji kaynaklarına bağımlılık düzeyini göstermesi bakımından -daha somut bir örnek olarak- elektriğin elde edildiği enerji kaynaklarına bakmak faydalı olacaktır. Bu çerçevede, Türkiye’de üretilen elektrik enerjisinin nerelerden ve hangi oranlarda elde edildiği aşağıda Şekil 5’te detaylı olarak sunulmaktadır.

Şekil 5: Türkiye’de Üretilen Elektriğin Kaynakları ve Payları

Enerji Kaynakları		Miktar /GWh	Oran (%)
Termal		104,898.50	74.78
	Kömür	8,718.90	6.22
	Linyit	23,630.00	16.85
	Petrol	8,661.50	6.17
	Dizel	0.20	0.00
	Doğalgaz	62,300.30	44.41
	Jeotermal	88.60	0.06
	LPG	369.40	0.26
	Nafta	1,059.50	0.76
	Diğer	70.10	0.05
Rüzgâr		61.40	0.04
Hidrolik (Su)		35,323.60	25.18
Toplam		140,283.50	100.00

Kaynak: Yavaş (2006), <http://www.bos.com.tr>

Buna göre, elektrik üretiminin büyük bir kısmının termal enerji kaynaklarından elde edildiği ve bunlar arasında da doğalgaz (%44), linyit (%16,85) ve kömür (6,22) gibi fosil tabanlı yakıtların ağırlıklı olduğu görülmektedir. Bu çerçevede 20 yıl ya da daha uzun süreli bir projeksiyon yapıldığında hidrokarbon kullanan (kömür, linyit, fuel-oil, dizel, doğalgaz vb) proseslerin yerlerini elektrik üretiminde hidrojen kullanan proseslere bırakacağı tahmin edilmektedir (Yavaş, 2006).

Bu çerçevede hidrojen, –elektrik üretiminin yanında- ülkemizde fosil tabanlı enerjilerin kullanıldığı çok sayıdaki alanda önemli bir alternatif olacaktır. Gerçi mevcut şartlarda Türkiye’de hidrojen enerjisine kısa dönemde bir geçiş beklenmemektedir ancak dünyadaki gelişmeler doğrultusunda bu geçişin uzun vadede de olsa zorunlu hale geleceği açıktır. Hidrojen ve hidrojen teknolojileri konusunun ülkemizde de önümüzdeki on ile yirmi yıl arasında ciddi oranda ticarileşeceği düşünülmektedir (Yılmaz, 2007). Bu bağlamda, hidrojen enerjisinin Türk enerji piyasasındaki pazar payının 2070’li yıllar itibarıyla ise %60 -70 oranlarına ulaşacağı tahmin edilmektedir (TPAO, 2003).

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

Ülkemizde hidrojen ve hidrojen teknolojileri konusunda dünyadaki gelişmeleri ne derece yakından takip edebildiği konusunda soru işaretleri bulunmakla birlikte bu alanda ülkemiz açısından dikkat çekici çalışmaların yapıldığını da belirtmek gerekir. Türkiye birkaç nedenden dolayı bu alanda önemli gelişmeleri yakalama potansiyeli olan bir ülkedir. Geliştirilebilir AR-GE altyapısı, hidrojen üretimine uygun kaynakları ve konunun önemini anlayan ve bu alana yatırım yapan bir özel sektör ile Türkiye bu fırsatı yakalama şansına sahiptir.

Birleşmiş Milletler Endüstriyel Gelişme Organizasyonu bünyesinde kurulan Uluslar arası Hidrojen Enerjisi Teknolojileri Merkezi’nin (International Center for Hydrogen Energy Technologies – UNIDO-ICHET) İstanbul’da kurulmuş olması, ülkemiz için son derece önemli bir fırsattır. Türkiye bu sayede bu alandaki gelişmeleri yakından takip etme imkânı yakalayabilecektir. Bu sayede –şayet iyi kullanılabilirse- önemli derecede bir bilgi ve teknoloji transferinin yapılabilmesi de mümkün olabilir. Türkiye UNIDO-ICHET sayesinde dünyada hidrojen teknolojileri ve ürünlerinin üretim merkezi haline gelebilir (<http://www.hidrener.com>).

Türkiye, hidrojen konusunda yüksek potansiyele sahip ülkelerden birisidir. Türkiye hidrojen üretimi konusunda önemli avantajlara sahip bir ülkedir. Karadeniz’in tabanında kimyasal biçimde depolanmış büyük hidrojen potansiyeli bulunmaktadır. Karadeniz’in suyunun %90’ı anaerobiktir ve hidrojen sülfür (H_2S) içermektedir. 1.000 metre derinlikte 8 ml/l olan H_2S konsantrasyonu, tabanda 13,5 ml/l düzeyine ulaşmaktadır. Elektroliz reaktörü ve oksidasyon reaktörü gibi iki reaktör kullanılarak, H_2S ’den hidrojen üretimi konusunda yapılmış teknolojik çalışmalar mevcuttur. Karadeniz’deki H_2S ’e ilave olarak, Türkiye’nin enerji portföyü arasında bulunan linyit ve bor rezervleri de temiz yöntemlerle üretime uygun hidrojen kaynaklarıdır. Türkiye, güçlü kaynaklarına ek olarak hidrojenin depolanması, emniyetli kullanımı ve ekonomik bir şekilde nakledilebilir hale gelmesinde çok önemli bir fonksiyonu yerine getiren bor türevleri konusunda da dünya rezervlerinin %60’ına sahiptir. Ayrıca, Türkiye’nin üç tarafının denizlerle kaplı olması, göller ve akarsularının oldukça fazla sayıda bulunması, ayrıca yağışlı bölgelerinin de çok olmasından dolayı hidrojen elde edilmesi için önemli bir avantaj oluşturmaktadır(Ertürk, 2006: 21–24).

Türkiye’de hidrojen yakıtı üretiminde kullanılabilecek kaynaklardan bazıları, hidrolik enerji, güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, deniz-dalga enerjisi, jeotermal enerji ve adım atılması gereken nükleer enerjidir. Türkiye gibi gelişme sürecinde ve teknolojik geçiş aşamasındaki ülkeler açısından, uzun dönemde fotovoltaik güneş-hidrojen sistemi uygun görülmektedir (TÜSİAD, 1998).

Özel sektör firmaları, dünyanın hemen hemen bütün gelişmiş ülkelerinde AR-GE konusundaki finansal destekleri ve fiili çalışmaları ile gelişmenin öncülüğünü yapmaktadırlar. Çünkü AR-GE çalışmaları sonucunda elde edilebilecek ürünlerin ticarileştirilebilmesi tamamen firmaların ticari becerilerine bağlı bir olaydır. Yüksek oranda getiri elde edebilmek için firmaların çoğunlukla yüksek risk üstlenmeleri bir zorunluluk olmaktadır ve AR-GE çalışmaları da bu kategoride yer almaktadır. Özellikle hidrojen enerjisi ve hidrojen teknolojileri gibi ileri teknolojik ürünlerde bu durum daha belirgindir. Ancak bugünün yoğun rekabet ortamında firmaların ayakta kalabilmeleri, teknolojiyi yakından takip edebilmeleriyle direkt olarak ilişkilidir. Ülkemizde de bunun farkına varmış ve teknolojiyi yakından takip etmeye çalışan çeşitli firmalar mevcuttur.

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

Zorlu Grubu, dünyada büyük bir pazar olarak görülen ve gittikçe büyüyen enerji pazarına yönelik olarak, ‘hidrojen enerjisi’ alanında yaptığı AR-GE çalışmaları, geliştirdiği ürünler ve teknolojiler ile Türkiye’de bu alanda liderliği hedefleyen ve dünyada da önemli bir firma haline gelmeyi hedefleyen firmalardan birisidir. Zorlu Grubu, cep telefonları ve bilgisayar gibi cihazlara enerji sağlamak amacıyla geliştirilen yakıt hücreleri, konutların tüm enerji ihtiyacını karşılayacak katı-oksit yakıt hücreleri, sıvı olarak elde edilen hidrojenin güvenli olarak taşınmasına ve depolanmasına imkân tanıyan yeni teknikler ve diğer alternatif enerji kaynakları üzerinde çalışmaktadır. Grup, üniversiteler ve diğer araştırma kuruluşları ile yakın bir işbirliği içinde çalışmakta ve bu alanlarda çeşitli projeleri yürütmektedir. Grup tarafından çeşitli basılı ve görsel medya araçlarına yapılan açıklamalarda bazı alanlarda önemli ilerlemelerin elde edildiği ve bazı ürünlerin ticarileşme aşamasına geldiği belirtilmektedir. Zorlu Grubu Türkiye’deki kaynakların değerlendirilmesi ve dünyaya açılması için teknoloji üretimine ağırlık vermiştir (Zorlu Grubu, 2005).

Bir akaryakıt firması olan Aytemiz, ABD’li gaz şirketi Praxair ile hidrojen üretim çalışmalarını yürütmektedir. Elimsan Topluluğu, Plug Power şirketi ile birlikte 5 kW’lık yakıt hücreleri geliştirmiştir. Fırat otomotiv, otomobillerde hidrojen üreten Hidroksit adlı bir ürün geliştirmiş durumdadır. Bu ürün, yüzde 25 oranında yakıt tasarrufu ve performansı artışı ve karbondioksit emisyonunda da yüzde 70’lik bir azalma sağlamaktadır. Endüstriyel uygulamalar için enerji dağıtım sistemleri üzerine çalışan EAE Elektrik de hidrojenle beslenerek elektrik üretimi yapan 1,5 watlık bir yakıt hücresi geliştirmiştir. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü tarafından yürütülen Türkiye’nin hidrojen enerjisi ile çalışan ilk melez otomobili projesinin de kısa zamanda tamamlanması beklenmektedir (<http://www.kobifinans.com.tr>).

Hidrojeni elektrik enerjisine çevirmenin en iyi yolu olan yakıt hücrelerine ilişkin çalışmalar son yıllarda Türkiye’de de önemli oranda artmaya başlamıştır. Bu çalışmalardan biri, Ford Otosan, Arçelik, TOFAŞ, Aygaz ve Demirdöküm firmaları ile Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV) ve TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi(MAM) işbirliği ile geliştirilmesi, üretilmesi ve ticarileşmesi planlanan yakıt hücresi projesidir (Yıldırım, 2006).

Türkiye’de yürütülen hidrojen tabanlı projelerden bazıları şunlardır:

- **Atatürk hava meydanı otobüs projesi:** TPAO ve TEMSA’nın ortak olarak yürüttükleri bir projedir. TEMSA’nın ürettiği hidrojenle çalışan otobüsler hava meydanı içinde ve dışında TPAO tarafından işletilecektir. Otobüslerde içten yanmalı motorların kullanılması planlanmaktadır.
- **Rüzgâr-hidrojen projesi:** Demirer Holding, BOS, Çukurova Holding ve Unilever şirketlerinin yer aldığı bir konsorsiyum tarafından yürütülecek proje, rüzgârdan hidrojen üretimini öngörmektedir.
- **Hastane Projesi:** Ankara’da bir hastanede hidrolizle oksijen ve hidrojen üretimi planlanmaktadır. Oksijen, ameliyathanede ve bebek doğum kısmında; hidrojen ise ambulans yakıtı ve yemek pişirmede kullanılacaktır. Projenin Haziran 2008’de bitmesi planlanmaktadır.
- **Ambarlı santrali hidrojen projesi:** EÜAŞ ve İGDAŞ tarafından yürütülmekte olan proje, hidrojen üretilip doğalgaz boru hattına verilmesi ilkesine dayanmaktadır. Proje,

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı:
"Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri" pazarı*

gece kullanılmayan elektriği kullanarak hidrojen üretimini öngörmektedir. Doğalgaz boru hatlarına verilen hidrojen oranı giderek artırılarak, mevcut doğalgaz boru hattının gelecek 50 yıl içinde hidrojen boru hattına dönüşeceği tahmin edilmektedir.

- **Hidroelektrik-hidrojen projesi:** EÜAŞ, TPAO ve İGDAŞ'ın oluşturduğu bu projede uygun bir hidroelektrik santralinden hidrojen üretilip doğalgaz boru hattına verilmesi öngörülmektedir. Projenin Haziran 2009'da faaliyete geçmesi beklenmektedir.
- **Biyomas-hidrojen projesi:** Proje, tatlı sorgum bitkisinden hidrojen üretimini öngörmektedir. Yapılan bazı AR-GE çalışmalarına göre, bugün için en ucuz hidrojenin biyo-yakıtlardan üretilebileceği görülmektedir. Projenin Eylül 2008'de faaliyete geçmesi beklenmektedir.
- **Hidrojenli ev projesi:** Bu projede Denizli’de güneş pillerinden elde edilen elektrik ile hidrojen üretilmesi öngörülmektedir. Evin ve aracın yakıtı hidrojenle sağlanacaktır. Ekim 2008'de tamamlanması beklenen projenin finansmanı Devlet Planlama Teşkilatı tarafından sağlanmaktadır.
- **Traktör projesi:** Türk Traktör ve Petrol Ofisi tarafından ortaklaşa yürütülen bu projede, Türk Traktör’ün ürettiği bir traktör hidrojenle çalışacak ve Petrol Ofisi de aracın hidrojenini sağlayacaktır. Bu projenin Kasım 2007'de faaliyete geçmesi planlanmaktadır.
- **Forklift projesi:** Çukurova Holding ve BOS firmaları tarafından gerçekleştirilen proje, hidrojenle çalışan bir forklift geliştirilmesini öngörmektedir. Çukurova Holding tarafından geliştirilen forkliftin hidrojeninin BOS tarafından sağlanması planlanmıştır. Projenin Nisan 2008'de tamamlanması beklenmektedir. Çukurova Holding’e göre bu ürünün pazarlanabilirliği oldukça yüksektir.
- **Deniz taksi projesi:** T-Design, Oktet ve BOS tarafından ortaklaşa yürütülen projeye göre hidrojenle işleyen iki adet deniz taksisinin geliştirilmesi öngörülmektedir. Projeye göre deniz taksilerinden birisi üzerinde hidrojen deposu olacak şekilde tasarlanacak ancak diğeri üstüne yerleştirilecek güneş pili vasıtasıyla yakıtını kendisi üretecektir. Projenin Ekim 2008'de başlaması beklenmektedir.
- **Güneş-hidrojen projesi:** Proje, güneş enerjisinden hidrojen üretilmesini öngörmektedir. Güneş pillerinin araçların üstüne konularak elde edilen güneş enerjisiyle, hidrojen yakıt hücresinin doldurulması planlanmaktadır. Sistemle motosiklet gibi küçük araçların yakıtlarının karşılanması planlanmıştır. Proje, Ekim 2006'da başlamıştır.
- **İzmit Belediyesi otobüs projesi:** Bu projeye İzmit’te 10 adet otobüsün hidrojenle çalışması planlanmıştır. Bunlar içten yanmalı motorlu araçlara ve dizel otobüslere göre yüzde 30 daha pahalı fakat yakıt pilli otobüslere göre daha ucuz olması beklenmektedir. Otobüslerin TEMSA tarafından üretilmesi, hidrojenin ise BOS veya TPAO tarafından sağlanması planlanmıştır (Global Enerji Dergisi, 2006).

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

- **Türkiye’de Hidrojenle Çalışan Otobüs Projesi:** Proje, İstanbul’da hidrojenle çalışan otobüslerin hizmete sokularak gerekli hidrojenin gece kullanılmayan elektrikten elde edilmesini içermektedir. Bu otobüslerin üç yıl gibi bir süre içerisinde hizmete girmesi planlanmıştır. Bu otobüslerden bir kısmının hidrojen yakıt hücreleriyle, bir kısmının da hidrojen yakıtlı içten yanmalı motorlarla çalışması planlanmıştır. Bu otobüslerin önümüzdeki yılda hizmete girmesi düşünülmektedir (Hidrojenturk, 2005).
- **Bozcaada’da Hidrojen Üretimi Projesi:** Bu proje, nüfusunun kışın 3 000, yazın ise 10 000 civarında olan Bozcaada’da rüzgâr enerjisinden yararlanılarak hidrojen üretimini öngörmektedir. Elde edilen hidrojenin yerli sanayi ve taşıma için gerekli yakıt da dâhil olmak üzere ada halkının yakıt ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılması planlanmıştır (Hidrojenturk, 2005).

Görüldüğü üzere, Türkiye’de de hidrojenle ilgili çok çeşitli projeler yürütülmektedir. Ancak bu projelerin önemli bir kısmının küçük ölçekli projeler olduğu açıktır. Ayrıca projelerin önemli bir kısmı teknoloji geliştirme odaklı değil; uygulama odaklıdır. Bununla birlikte, teknoloji transferi bile bu aşamada önemli bir gelişme olarak ele alınmalıdır. Mevcut projeler – ister büyük ölçekli, isterse küçük ölçekli olsun- hidrojen ve hidrojen teknolojilerinin uygulama alanı bulması ve hidrojen tabanlı pazarın gelişimi bakımından son derece önemlidir. Şüphesiz ki, mevcut uygulamaların yeni uygulama alanlarının ortaya çıkmasına ve yeni ürünlerin ve teknolojilerin gelişmesine önemli katkısı olacaktır. Hidrojen ihtiyacının Pazar tarafından algılanması, farkına varılması ve kabul görmesi, bu alanda geliştirilecek ürünlerin ve pazarlama çalışmalarının başarısı açısından son derece önemlidir. Genel olarak ifade etmek gerekirse, yukarıdaki bazı örneklerde ifade edilen teknoloji geliştirme odaklı projelerle birlikte düşünüldüğünde, -ister teknoloji geliştirme projeleri, isterse uygulama projeleri olsun- Türkiye’de de bu alanda yeterli olmasa da önemli miktarda faaliyetin yürütüldüğünün altını çizmek gerekir.

6. Sonuç

Bu çalışma, -pazarlama bakış açısıyla- hidrojen enerjisinin ve hidrojen teknolojilerinin dünyadaki uygulama alanlarını, AR-GE çalışmalarını, pazar gelişimini ve pazar fırsatlarını incelemiş ve farklı ülkeler bazında bir perspektif sunmuştur.

Mevcut durumda hidrojen enerjisi, yakıt türünün özellikleri, bu alandaki teknolojik gelişmelerin ulaştığı düzey, konu ile ilgilenen ülkelerin politikaları ve destekleri, ilgili uluslar arası firmaların nitelikleri ve pazar büyüme trendleri göz önüne alındığında alternatif enerji kaynakları içerisinde enerji pazarındaki en büyük enerji alternatiflerinden birisi olarak ortaya çıkmaktadır. Çok çeşitli kaynaklardan ve büyük miktarlarda elde edilebilen hidrojen, sonsuz bir enerji kaynağı durumundadır. Mevcut tahminler, dünyanın en geç 2070 yılında tamamen hidrojene ve hidrojen ekonomisine geçeceğini öngörmektedir. Hidrojen ve – bir enerji dönüşüm sistemi olan yakıt hücreleri gibi- hidrojen teknolojileri, orta ve uzun dönem için son derece olumlu sinyaller vermektedir. Bunun da hidrojenin global enerji ekonomisinin itici gücü haline gelmesini sağlayacağı öngörülmektedir. Dünya nüfusunundaki hızlı artış, mevcut enerji kaynaklarının kısıtlılığı ve onların finansal, çevresel, sosyal, ekonomik ve diğer maliyetlerinin de hidrojen ve hidrojen teknolojilerindeki gelişmeleri ve bu pazarın büyümesini destekleyeceği ve hızlandıracığı beklenmektedir.

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı:
"Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri" pazarı*

Hidrojenin sahip olduğu özellikler, hidrojen alanındaki çalışmalar, geline teknolojik düzey vb. hepsi, dünyanın yeni –hidrojene dayalı- bir ekonomiye doğru yönlendiğini göstermektedir. Bu konuda belirgin görüşler mevcuttur. Örneğin; hidrojen alanındaki araştırma ve geliştirme yatırımlarının büyüklüğüne yapılan vurgular ve hidrojen ekonomisinin büyük bir toplumsal ve teknik çekiciliğe sahip bulunduğu (Cabtree vd., 2004) ve hidrojenin –yenilenebilir enerji kaynakları arasında- geleceğin enerji kaynağı olduğu (Maack ve Skulason, 2006) görüşleri, bunlardan yalnızca bazılarıdır. Ayrıca, hidrojen alanındaki ticari çalışmalar da yeni bir pazarın doğmakta olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede, yeni teknolojiye dayalı birçok ürün geliştirilmiş ve bunların önemli bir kısmı ticarileşme aşamasına ulaşmış durumdadır. Dünyanın en büyük firmalarının da aralarında bulunduğu birçok uluslararası firma, bu alandaki fırsatları kaçırmamak için çok ciddi AR-GE çalışmaları yapmakta ve büyük miktarlarda finansal kaynakları yatırmaktadırlar. Bazı devletlerin hidrojen enerjisi konusunda uzun dönemli ve detaylı planlamalara girdikleri gözlenmektedir. Geline mevcut durum, hidrojen ve hidrojen teknolojilerinin çok yakın bir gelecekte bile on milyarlarca dolarlık bir pazar büyüklüğüne ulaşacağı tahminini ortaya çıkarmaktadır. Yukarıda ifade edilen pazar büyüklüğü ile ilgili rakamlar ve gelişme trendleri bu tahminleri desteklemektedir.

Enerji pazarı, mevcut durumda bile devasa bir büyüklüğe sahiptir. Bu pazarın alternatif enerji ürünleriyle desteklenmesi ve mevcut ihtiyaçlar, bu pazarı daha da büyütecektir. Bu durum, enerji pazarında yeni imkânların ve fırsatların doğuşu anlamına gelmektedir. Ayrıca mevcut enerji pazarındaki az odaklılık ve kısmen merkezi yapılanma –ki bugün dünyada petrol üretimi, işlenmesi ve dağıtımı belli başlı batılı ülkelerdeki firmalar tarafından yapılmaktadır- büyük oranda kırılacak ve enerji pazarına çok sayıdaki orta büyüklükteki firma da oyuncu olarak katılabilecektir. Enerji pazarında çok sayıda üretici yer alabilecek ve bu pazarın yapısı önemli oranda değişecektir. Enerji üretimi, dağıtımı ve kullanımı yerel hale dönüşebilecektir. Bu, enerjinin ve enerji ürünlerinin pazarlama sistemini ve uygulamalarını da önemli ölçüde değiştirebilecektir.

Türkiye’de hidrojen enerjisi ve hidrojen teknolojileriyle ilgili çalışmalar henüz yenidir ve gelişme aşamasındadır. Buna karşın –dünya ölçeğinde olmasa da- birçok proje uygulamaya konulmuş durumdadır. Türkiye hidrojen konusunda üretim kaynakları, altyapı ve pazar dinamikleri açısından önemli avantajlara sahiptir. Bu avantajları kullanabilirse, önemli bir gelişim yakalaması ve gelişmiş bir hidrojen pazarına sahip olması mümkündür. Bununla birlikte, Güney Kore ve İzlanda’da olduğu gibi bu konuda üniversiteler ve ilgili devlet kuruluşları vasıtasıyla kapsamlı bir AR-GE programının geliştirilmesi ve devlet desteğiyle hızla uygulamaya konulmasına ihtiyaç bulunmaktadır. Enerji’de çok büyük oranda dışarıya bağlı olan Türkiye’de böyle bir programın önemli getirileri olacaktır.

Cihat Polat, Nurcan Kılınc: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

Kaynaklar

- Abaoud, H., Steeb, H., *The German-Saudi HYSOLAR Program*, International Journal of Hydrogen Energy, Volume 23, Issue 6, pp. 445–449, 1998
- Adamson, K. A., *Korean Fuel Cell and Hydrogen R&D Targets and Funding*, Fuel Cell Today, 2005a, (www.fuelcelltoday.com, Erişim: 30 Nisan 2007)
- Adamson, K. A., *Fuel Cell Today Market Survey: Small Stationary Applications*, Fuel Cell Today, 2005b, (www.fuelcelltoday.com, Erişim: 30 Nisan 2007)
- Adamson, K. A., *Fuel Cell Today Market Survey: Niche Transport (Part I)*, Fuel Cell Today, 2005c, (www.fuelcelltoday.com, Erişim: 30 Nisan 2007)
- Adamson, K. A. Crawley, G., *Fuel Cell Today 2006 Worldwide Survey*, Fuel Cell Today, January, 2006, (www.fuelcelltoday.com, Erişim: 30 Haziran 2007)
- Baretto, L. Makihira, A. Riahi, K., *The Hydrogen Economy in the 21st Century: A Sustainable Development Scenario*, International Journal of Hydrogen Energy, pp: 267-284, 2003
- BilgiUstam, *Hidrojen Yakıt Pili Kullanim Alanlari ve Dünya Üzerindeki Gelişimi*, Mayıs 2007, (<http://www.bilgiustam.com/?p=186>, Erişim: 30 Haziran 2007).
- Bossel, U. Eliasson, B. Taylor, G., *The Future of the Hydrogen Economy: Bright or Bleak?*, Proceedings, The Fuel Cell World, 2005, (<http://planetforlife.com/pdffiles/h2report.pdf> Erişim: 30 Haziran 2007)
- Breakthrough Technologies Institute, *Fuel Cells for Portable Power: Markets, Manufacture and Cost, Fuel Cells Final Report (R4)*, Darnell Group Inc. (909) 279-6684, Washington DC, 2003, (www.fuelcells.org, Erişim: 30 Nisan 2007)
- Cabtree, G.W., Dresselhaus, M.S., Buchanen, M.V., *The Hydrogen Economy*, American Institute of Physics, 2004.
- Cherry, R. S., *A Hydrogen Utopia?*, International Journal of Hydrogen Energy, 2004.
- Çetinkaya, M. ve Karaosmanoğlu, F., *Yakıt Pili*, Tesisat Mühendisliği Dergisi, Mayıs – Haziran, 2004, (www.mmoistanbul.org/yayin/Scripts/prodView.asp?idproduct=309, Erişim: 30 Mayıs 2007)
- Devlet Planlama Teşkilatı, *Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Raporu*, Ankara, 2001, (<http://ekutup.dpt.gov.tr/enerji/oik585.pdf>, Erişim: 30 Mayıs 2007)
- Dunn, S., *Hydrogen Futures: Toward a Sustainable Energy System*, International Journal of Hydrogen Energy 27, pp: 235 – 264, 2002.
- Emir, M., *Enerji Taşıyıcısı Olarak Hidrojen Gazı Elde Ediliş Yöntemleri Ve Kullanım Olanakları*, 2005, (http://sifirforum.net/forum/siyaset/hidrojen_enerjisi-t6557.0.html, Erişim: 25 Mayıs 2007).
- Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, *Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nun 2006 Yılı Bütçesi*, (<http://www.enerji.gov.tr/belge/butce.doc>, Erişim: 5 Temmuz 2007).
- Eniş, A., *Enerji Politikaları: Yerli, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları*, TMMOB Makine Mühendisleri Odası “Enerji Politikaları; Yerli, Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları” Raporu Özeti, 2006,

Cihat Polat, Nurcan Kılınc: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

(http://www.emo.org.tr/resimler/etkinlikbildirileri/c5689792e08eb2e_ek.pdf, Erişim: 18 Temmuz 2007).

Ersöz, A., *Alternatif Enerji Teknolojilerinde Mevcut Durum ve Gelişmeler*, Tübitak MAM Enerji Enstitüsü, 2006,

(http://www.eie.gov.tr/duyurular/EV/EV_etkinlik/2006_bildiriler/OturumV/AtillaErsöz.doc, Erişim: 18 Temmuz 2007).

Ertürk, F., *Türkiye’nin Alternatif Enerji Kaynakları İçinde Nükleer Enerjinin Yeri Ve Önemi*, İstanbul 2006, (<http://www.tasam.org/modules.php?name=News&file=article&sid=267>, Erişim: 25 Mayıs 2007)

Evans, M., *Energy Research and Development in Italy*, 1999, (<http://energytrends.pnl.gov/italy/it005.htm>, Erişim: 25 Mayıs 2007)

Feller, G., *Hydrogen Power in China*, 2004, (<http://www.ecoworld.com/home/articles2.cfm?tid=352>, Erişim: 30 Nisan 2007)

Fernandes, T.R.C., Chen, F., Carvalho, M.G., “HySociety” in Support of European Hydrogen Projects and EC Policy, *International Journal of Hydrogen Energy* 30, 2005.

Forsberg, C. W., *Future Hydrogen Markets for Large-Scale Hydrogen Production System*, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2006.

Frois, B., *France Member Statement*, Vancouver, France, 2006, (www.iphe.net/.../Final%20Presentations/IPHE/TUES%20AM/Vancouver%202006%20IPHE%20France%20presentation.pdf , Erişim: 18 Haziran 2007)

Fuji-Keizai, *2005 Hydrogen Market, Hydrogen R&D and Commercial Implication in the U.S. and E.U.*”, 2005, (<http://www.researchandmarkets.com/reports/c18817>, Erişim: 30 Nisan 2007)

Geiger, S., *Fuel Cell in Austria, Italy and Switzerland – A Survey of Current Developments*, *Fuel Cell Today*, 2004, (www.fuelcelltoday.com, Erişim: 30 April 2007)

Global Enerji Dergisi, *Türkiye H2 Üssü*, Sayı: 22, Ankara, 2006

Guardian Unlimited, *Weapons of Mass Distruption, Special Report on Oil and Petrol*, 2002, (<http://www.guardian.co.uk/oil/story/0,11319,677739,00.html>, Erişim: 30 April 2007)

Güvendir, M. ve Öztürk, T., *Enerji Kaynağı Olarak Hidrojen Ve Hidrojen Depolama*, 2003, (http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2003/agustos/makale_enerji.htm, Erişim: 30 Nisan 2007)

Harrison, G., *Opportunities arising from DTI Innovation initiatives*, HERDA Annual Conference, November, 2003, ([http://www.herda-sw.ac.uk/additional/files/herda-swconference2006/presentations/A4%20%20DTI%20and%20RDA%20support%20to%20innovative%20businesses%20and%20HEIs%20\(Graham%20Harrison\).ppt](http://www.herda-sw.ac.uk/additional/files/herda-swconference2006/presentations/A4%20%20DTI%20and%20RDA%20support%20to%20innovative%20businesses%20and%20HEIs%20(Graham%20Harrison).ppt), Erişim: 21 Mayıs 2007)

Hamzaçebi, Ç., *Forecasting of Turkey’s Net Electricity Energy Consumption on Sectoral Bases*, *Energy Policy* 35, ss: 2009–2016, 2007

Hidrojentürk, *Türkiye, Hidrojen Enerjisinde Dünyayı Şekillendiriyor*, Sayı 4, ss:1-5, İzmit, 2005.

Cihat Polat, Nurcan Kılınc: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

Hillmore, P., *Arabs will cut and cut again in oil war*, Guardian Unlimited, October 23, 1973, (<http://century.guardian.co.uk/1970-1979/Story/0,6051,106859,00.html>, Erişim: 21 Mayıs 2007)

Hirsh, S. C., Abraham, M., Singh, J. *Analysis of Hydrogen Penetration in a Developing Market such as India for use as an Alternative Fuel*, Proceedings 2nd International Hydrogen Energy Congress and Exhibition IHEC 2007, İstanbul, Turkey, 13-15 July 2007

Jungguang, L., *Hydrogen-Fuel Cell Vehicle Development in China*, Demonstration for Fuel Cell Bus Commercialization in China, 2006, (www.un.org/esa/sustdev/csd/csd14/lc/presentation/hydrogen4.pdf , Erişim: 30 Nisan 2007)

Kaya, D., *Renewable Energy Policies in Turkey*, Renewable and Sustainable Energy Reviews 10, pp: 152–163, 2006.

Kırtlar, D. Kapucu, S. Yaylacı, Y., *Enerji Kaynaklarının Dünyaya Verdiği Zararların Kimyasal Olarak Etkileri Nelerdir? Doğal mı? Kimyasal mı?* 2004, (www.emo.org.tr/resimler/ekler/d9cfb0d25f138d1_ek.pdf, Erişim: 18 Temmuz 2007).

Maack, M. H., ve Skulason, J. B., *Implementing the Hydrogen Economy*, Journal of Cleaner Production, 2006.

McDowall, W. Eames, M., *Forecast, Scenarios, Visions, Backcasts and Roadmaps to the Hydrogen Economy: A Review of the Hydrogen Futures Literature*, Policy Studies Institute, London, 2006.

Menzen, G. ve Neef, H. J., *Ingredients of a German Hydrogen and Fuel Cell Strategy*, IPHE Implementation and Liaison Committee, Rio de Janeiro, Germany, 2005, (http://www.iphe.net/IPHErestrictedarea/Rio%20Dejaneiro%20ILC/ilc%20rio%20pdfs/22_03%20-%20Tuesday/Afternoon/15h30%20-%203.7%20Germany%20Government%20Presentation.pdf, Erişim: 18 Haziran 2007)

Momirlan, M. and Veziroglu T.N., *Current Status of Hydrogen Energy*, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.VI, No: 1-2, 2002.

Muneer, T., ve Kubie M. A., *Generation and Transmission Prospects for Solar Electricity: UK and Global Markets*, Energy Conversion and Management 44, 2003.

Neef, H. J., *Programmes on Energy Research and Technologies of the Federal Government*, IPHE Country Paper: Germany, Germany, 2004, (<http://www.iphe.net/ipherestrictedarea/country%20papers/Country%20paper%20Germany.doc> , Erişim: 30 Nisan 2007)

Otvav, *Hidrojen ve Güneş Enerjisi*, Şubat, 2007, (<http://otvav.wordpress.com/2007/02/18/hidrojen-ve-gunes-enerjisi/> Erişim: 11 Temmuz 2007).

Özbilen, Ş., *Kaynakların Paylaşımı ve II. Körfez Savaşı*, Finans Dünyası, Sayı: 160, Nisan, s.18-24, 2003.

Rand, D. A. J., ve Dell, R. M., *The Hydrogen Economy: A Threat or an Opportunity for Lead – Acid Batteries?*, Journal of Power Sources 144, ss: 568 – 578, 2005.

Şahanalan, İ., *Hidrojen Enerjisi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2006, (<http://hidrojen6.blogcu.com/>, Erişim: 25 Mayıs 2007)

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı: “Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri” pazarı*

The Outlook for Fuel Cells to 2010, *Commercial Opportunities in Power Generation Markets*”, 2005, (www.globalbusinessinsights.com, Erişim: 30 Nisan 2007)

Thorpe, K., *The Forgotten Shortage: Britain's Handling of the 1967 Oil Embargo*, Contemporary British History (21:2), 201-222, 2007.

Turan, S., *Yenilenebilir Enerji Kaynakları*, Konya Ticaret Odası, Araştırma Uzmanı, 2006, (<http://www.kto.org.tr/tr/dergi/dergiyazioku.asp?yno=700&ano=61>, Erişim: 18 Temmuz 2007).

TÜBİTAK, *Sodyum Bor Hidrür Üretimi ve Doğrudan Sodyum Bor Hidrürlü Yakıt Pili*, 2005, (<http://www.mam.gov.tr/populer/sodyum.htm>, Erişim: 30 Mayıs 2007)

Tpao, *2001 Yılı Bilânço ve Netice Hesaplarına Ait TBMM KİT Alt Komisyonu Toplantısı Sunumu*, Ankara, 2003.

Tüsiad, 21. *Yüzyıla Girerken Türkiye’nin Enerji Stratejisinin Değerlendirilmesi*, Yayın No: TÜSİAD-T/98-127239, s: 213-213, Aralık, İstanbul, 1998, (<http://www.tusiad.org/turkish/rapor/enerji/pdf/sec16.pdf>, Erişim: 30 Mayıs 2007)

Uğur, A., *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun Tasarısı*, Elektrik Mühendisliği Dergisi, Sayı: 425, Şubat 2005.

Ün, T. Ü., *Hidrojen Enerjisi: Depolanması, Güvenliği, Çevresel Etkisi Ve Dünyadaki Durumu*, Anadolu Üniversitesi, Çevre Mühendisliği, 2003, (http://www.mmo.org.tr/muhendismakina/arsiv/2003/ekim/makale_hidrojen.htm, Erişim: 18 Haziran 2007)

Veziroglu, T. N., Barbir, F., *Hydrogen: The Wonderful Fuel*, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. XVII, No: 6, 1992.

Yavaş, U., Elektronik Posta Mesajı, 2006, Birleşik Oksijen Sanayi A.Ş., <http://www.bos.com.tr>
Yıldırım, M., *"Hidrojenle Birlikte Yenilenme Süreci Başladı"*, Termodinamik Sayı: 170, Ekim, 2006, (http://www.dogayayin.com/dergi_detay.asp?dergiID=157&yaziID=1137, Erişim: 30 Mayıs 2007)

Yıldırım, S., *Dünyada ve Türkiye’de Petrol*, DTM, Ağustos, 2003, (<http://www.dtm.gov.tr/dtmadmin/upload/EAD/DisTicaretDegerlendirmeDb/petrol-kitap.doc>, Erişim: 30 Mayıs 2007)

Yılmaz, P., *Hidrojen Ekonomisi*, “Hidrojen Teknolojisi Eğitim Programı 2”, Çankaya Üniversitesi, Ankara, 2-3 Haziran 2007

Zorlu Grubu, Zorlu, *‘Türkiye’nin geleceğine’ yatırım yapıyor*, 2005, (<http://www.telepati.com.tr/izbirakanlar/vestel119.htm>, Erişim: 30 Mayıs 2007)

Winter, C. J., *Electricity, hydrogen – competitors, partners?*, International Journal of Hydrogen Energy 30, 2005.

Cihat Polat, Nurcan Kılınç: *Dünya’da ve Türkiye’de yeni bir pazarın doğuşu, gelişimi ve paylaşımı:
"Hidrojen ve hidrojen teknolojisi ürünleri" pazarı*

İnternet Siteleri

<http://www.fizikdosyasi.com>, (<http://www.fizikdosyasi.com/hidrojen.html>, Erişim: 30 Mayıs 2007)

<http://www.evkultur.com>,
(<http://www.evkultur.com/cevre/enerjiyasamin/enerjiyasamincekirdegi6.htm>, Erişim: 30 Mayıs 2007)

<http://dwelle.de/>, (<http://dwelle.de/turkish/panorama/print/1.176351.1.html>, Erişim: 30 Mayıs 2007)

<http://www.hidrener.com> (Erişim: 30 Mayıs 2007)

<http://www.kobifinans.com.tr>,
(<http://www.kobifinans.com.tr/icerik.php?Article=8190&Where=sektor&Category=0119&Topic=5>, Erişim: 30 Mayıs 2007)

<http://strategis.ic.gc.ca>, (<http://strategis.ic.gc.ca/epic/site/hfc-hpc.nsf/en/mc00064e.html>, Erişim: 30 Mayıs 2007)

<http://www.oecd.org>, (<http://www.oecd.org/dataoecd/38/41/36193502.pdf>, Erişim: 30 Mayıs 2007)

<http://www.iphe.net>,
(<http://www.iphe.net/ipherestrictedarea/2-19-04/France%20Country%20Paper.doc>, Erişim: 30 Mayıs 2007)

<http://seoul.usembassy.gov>,
(seoul.usembassy.gov/uploads/images/4tsZovXdFVINSAJWp7w69g/wwwfe75303.pdf, Erişim: 30 Mayıs 2007)

<http://en.wikipedia.org> (1), (http://en.wikipedia.org/wiki/1967_Oil_Embargo, Erişim: 12 Haziran 2007)

<http://en.wikipedia.org> (2), (http://en.wikipedia.org/wiki/1973_oil_crisis, Erişim: 12 Haziran 2007)

<http://sifirforum.net/>, (http://sifirforum.net/forum/siyaset/hidrojen_enerjisi-t6557.0.html, Erişim: 18 Haziran 2007)

<http://tr.wikipedia.org/>, (http://tr.wikipedia.org/wiki/Hidrojen_ekonomisi, Erişim: 06 Temmuz 2007).

Teşekkür

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknoloji Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından desteklenen 105M095 nolu proje kapsamında yürütülmüştür. Cömert katkılarından dolayı TÜBİTAK’a teşekkürü borç biliriz.